

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA SUBSOLAGEM EM  
DIFERENTES CONDIÇÕES DE SOLO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**SAULO BOLDRINI GONÇALVES**

**IRATI-PR**

**2014**

**SAULO BOLDRINI GONÇALVES**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA SUBSOLAGEM EM DIFERENTES  
CONDIÇÕES DE SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo sustentável dos recursos florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler – UFES

Coorientador

Prof(a). Dr(a). Karina Maria Vieira Cavaliere – UFPR

Coorientador

Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes - UNICENTRO

Orientador

IRATI-PR

2014

Catálogo na Fonte  
Biblioteca da UNICENTRO

G635a GONÇALVES, Saulo Boldrini  
Avaliação da qualidade da subsolagem em diferentes condições de solo.  
/ Saulo B. Gonçalves. -- Irati, PR : [s.n], 2014.  
68f.

Dissertação (Mestrado) – área de concentração em Manejo Sustentável  
dos Recursos Florestais – Universidade Estadual do Centro - Oeste,  
PR.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Eduardo da Silva Lopes  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Maria Vieira Cavalieri  
Coorientador: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Nilton Cesar Fiedler

1. ENGENHARIA FLORESTAL. 2. MECANIZAÇÃO.  
3. CONTROLE DE QUALIDADE. I. LOPES, EDUARDO DA SILVA.  
II. CAVALIERI, KARINA MARIA VIEIRA. III. FIEDLER, NILTON  
CÉSAR. IV. UNICENTRO. V. TÍTULO.

CDD 20<sup>a</sup> ed. 634.9



# Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997

## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

### PARECER

Defesa Nº 60

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus de Irati, após arguir o mestrando **Saulo Boldrini Gonçalves** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA SUBSOLAGEM EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE SOLO", é de parecer favorável à APROVAÇÃO do estudante, habilitando-o ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Irati-PR, 10 de março de 2014.




*Dr. Paulo Torres Fenner*

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Primeiro Examinador



*Dr. Nilton Cesar Fiedler*

Universidade Federal do Espírito Santo  
Segundo Examinador



*Dr. Eduardo da Silva Lopes*

Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

À Deus  
*AGRADEÇO.*

Aos meus pais, a quem devo tudo que sou.  
Aos meus irmãos e aos amigos, pelo carinho  
e apoio durante essa caminhada.

*DEDICO.*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Centro-Oeste, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e ao Departamento de Engenharia Florestal, pelo acolhimento e possibilidade de realização deste trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Eduardo da Silva Lopes, pelo apoio, dedicação e orientação no desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Ao professor Nilton Cesar Fiedler pela coorientação, amizade e confiança.

À professora Karina Maria Vieira Cavalieri pela coorientação, sugestões e boa vontade, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

À Flávia Buhler dos Santos, secretária do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela atenção e dedicação aos docentes e discentes.

À Klabin S.A. pelo grande apoio, interesse e concessão de suas áreas, permitindo que este trabalho pudesse ser realizado, e aos seus funcionários James Stahl e Adriano de Oliveira Ferreira pela ajuda prestada durante a coleta de dados.

Aos amigos e companheiros que auxiliaram nas coletas de campo e laboratório, em especial ao Carlos Drinko, Maicon Veronez e Carlos Diniz pelo apoio na lida do campo.

À minha família, em especial aos meus pais, José Ferreira Gonçalves e Lucineá Mulinari Boldrini Gonçalves, que nunca mediram esforços para a minha formação pessoal e profissional, e aos meus irmãos pelo companheirismo de toda a vida.

À Cecília Conopca Lievore que mesmo a distância proporcionou-me muitos momentos de amizade, alegria e companheirismo.

Aos grandes Amigos da Pós-Graduação, Republica do Patrão e da cidade de Irati que me acolheram e proporcionaram muitos momentos de felicidade nesses 2 anos, que ficaram por toda a minha vida.

Enfim, a todos que colaboraram de alguma forma para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	i
LISTA DE TABELAS .....	iii
RESUMO .....	iv
ABSTRACT .....	v
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
3.1. Importância do setor florestal .....	4
3.2. Implantação de povoamentos florestais .....	5
3.3. Mecanização das atividades florestais .....	6
3.3.1. Desempenho operacional .....	7
3.3.2. Estudo de tempos e movimentos.....	8
3.4. Preparo do solo .....	9
3.4.1. Operação de subsolagem.....	10
3.4.2. Indicadores da qualidade do solo .....	12
3.4.2.1. Resistência do solo a penetração (RP).....	13
3.5. Controle de qualidade no setor florestal .....	14
3.5.1. Indicadores e padrões da qualidade do setor florestal.....	15
3.5.2. Ferramentas do controle da qualidade.....	16
3.5.2.1. Gráfico de controle .....	16
3.5.2.2. Histograma.....	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
4.1. Caracterização da área de estudo .....	18
4.2. Descrição do sistema de preparo de solo estudado.....	19
4.3. Delineamento experimental e procedimento amostral.....	20
4.4. Análise operacional.....	22
4.4.1. Estudo de tempos e movimentos.....	22
4.4.2. Disponibilidade mecânica .....	23
4.4.3. Eficiência operacional .....	23
4.4.4. Determinação da produtividade .....	23
4.5. Avaliação da qualidade no preparo do solo .....	24

4.5.1. Resistência do solo à penetração .....	24
4.5.2. Resistência do solo à penetração em diferentes distâncias do talhão.....	25
4.5.3. Profundidade e formato do sulco .....	26
4.5.4. Distâncias entre linhas de sulco .....	27
4.6. Ferramentas de qualidade utilizadas na avaliação da qualidade do preparo.....	28
4.7. Análise estatística .....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
5.1. Análise operacional.....	29
5.1.1. Análise dos elementos do ciclo operacional .....	29
5.1.2. Análise da produtividade e eficiência operacional.....	31
5.2. Avaliação da qualidade do preparo do solo .....	32
5.2.1. Solo A de textura muito argilosa.....	32
5.2.1.1. Caracterização do solo estudado.....	32
5.2.1.2. Resistência do solo à penetração (SA-40) .....	34
5.2.1.3. Resistência do solo à penetração nas classes de distâncias .....	40
5.2.1.4. Profundidade e formato do sulco .....	42
5.2.1.5. Distância entre linhas de sulco .....	44
5.2.2 Solo B de textura arenosa.....	45
5.2.2.1 Caracterização do solo estudado.....	45
5.2.2.2. Resistência do solo à penetração (SB-40).....	47
5.2.2.3. Resistência do solo à penetração em diferentes distâncias do talhão .....	52
5.2.2.4. Profundidade e formato do sulco .....	54
5.2.2.5. Distância entre linhas de sulco .....	56
6. CONCLUSÕES .....	57
7. RECOMENDAÇÕES.....	58
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização da região de realização da pesquisa.....	18
<b>Figura 2.</b> Esquema de malha das parcelas mostrando as quinze linhas de preparo de solo (na vertical) e os dez pontos amostrais por linha (na horizontal).....	21
<b>Figura 3.</b> Esquema do procedimento de amostragem da resistência do solo à penetração na linha de sulco do preparo do solo (E = a esquerda do centro do sulco; D = a direita do centro do sulco).....	24
<b>Figura 4.</b> Gabarito utilizado para obtenção do formato e profundidade do sulco de preparo. ....	26
<b>Figura 5.</b> Esquema da amostragem do formato e profundidade do sulco após o preparo do solo (locações das nove medidas; E = a esquerda do centro do sulco; D = a direita do centro do sulco). ....	27
<b>Figura 6.</b> Esquema da amostragem da distância entre linhas de sulco.....	27
<b>Figura 7.</b> Distribuição percentual do ciclo operacional do conjunto trator-subsolador no solo A nos elementos: subsolagem, manobra e interrupções; (a): tratamento à profundidade de subsolagem de 40 cm; (b): tratamento à profundidade de subsolagem de 50 cm. ....	29
<b>Figura 8.</b> Distribuição percentual do ciclo operacional do conjunto trator-subsolador no solo B nos elementos: subsolagem, manobra e interrupções; (a): tratamento à profundidade de subsolagem de 40 cm; (b): tratamento à profundidade de subsolagem de 50 cm. ....	30
<b>Figura 9.</b> Valores médios de resistência do solo à penetração antes (AS) e após a aplicação da subsolagem a 40 cm de profundidade (SA-40) no solo textura muito argilosa. Em que: Pontos amostrais: Ponto Central do sulco (PC); Ponto 20 cm à direita (P+20); Ponto 40 cm à direita (P+40); Ponto 20 cm à esquerda (P-20); Ponto 40 cm à esquerda e Ponto Entre Sulco (PES); Limite Crítico (LC); Limite Restritivo (LR). ....	36
<b>Figura 10.</b> Valores médios de resistência do solo à penetração antes (AS) e após a aplicação da subsolagem a 50 cm de profundidade (SA-50) no solo textura muito argilosa. Em que: Pontos amostrais = Ponto Central do sulco (PC), Ponto 20 cm à direita (P+20), Ponto 40 cm à direita (P+40), Ponto 20 cm à esquerda (P-20), Ponto 40 cm à esquerda e Ponto Entre Sulco (PES); Limite Crítico (LC); Limite Restritivo (LR). ....	39
<b>Figura 11.</b> Curvas de resistência à penetração do solo no momento antes da subsolagem (AS) e após a subsolagem (SU), em função da profundidade, nas diferentes classes distâncias da área experimental do solo A.....	40
<b>Figura 12.</b> Gráficos de controle da média para a profundidade do preparo do solo do tratamento SA-40 e SA-50 no solo A de textura argilosa Em que: As linhas em negrito são: Limite Inferior de Controle; Linha média; Limite Superior de Controle, respectivamente. ....	42
<b>Figura 13.</b> Variação média do sulco de preparo do solo nas linhas amostrais e nos transectos do tratamento SA-40 e SA-50. ....	43
<b>Figura 14.</b> Histograma de distribuição da distância entre linhas de sulco: a) tratamento SA-40; b) tratamento SA-50 (LE= Linha de Especificação). ....	44
<b>Figura 15.</b> Valores médios de resistência do solo à penetração antes (AS) e após a aplicação da subsolagem a 40 cm de profundidade (SB-40) no solo textura arenosa. Em que: Pontos amostrais = Ponto Central do sulco (PC), Ponto 20 cm à direita (P+20), Ponto 40 cm à direita (P+40), Ponto 20 cm à esquerda (P-20), Ponto 40 cm à esquerda e Ponto Entre Sulco (PES); Limite Crítico (LC); Limite Restritivo (LR). ....	49
<b>Figura 16.</b> Valores médios de resistência do solo à penetração antes (AS) e após operação de subsolagem a 50 cm de profundidade (SB-50) no solo B textura arenosa Em que: Pontos amostrais = Ponto Central do sulco (PC), Ponto 20 cm à direita (P+20), Ponto 40 cm à direita (P+40), Ponto 20 cm à esquerda (P-20), Ponto 40 cm à esquerda e Ponto Entre Sulco (PES);	

Linha Crítico (LC); Limite Restritivo (LR).....	51
<b>Figura 17.</b> Curvas de resistência à penetração do solo no momento antes da subsolagem (AS) e após a subsolagem (SU), em função da profundidade, nas diferentes classes distâncias da área experimental do solo B. ....	53
<b>Figura 18.</b> Gráficos de controle da média para a profundidade do preparo do solo do tratamento SB-40 e SB-50 no solo B de textura arenosa. Em que: As linhas em negrito são: Limite Inferior de Controle; Linha média; Limite Superior de Controle respectivamente. ....	54
<b>Figura 19.</b> Variação média do sulco de preparo do solo nas linhas amostrais e nos transectos do tratamento SB-40 e SB-50. ....	55
<b>Figura 20.</b> Histograma de distribuição da distância entre linhas de sulco: a) tratamento SB-40; b) tratamento SB-50 (LE= Linha de Especificação). ....	56

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Características do povoamento florestal das áreas de estudo. ....	19
<b>Tabela 2:</b> Características técnicas do conjunto trator-subsolador.....	20
<b>Tabela 3:</b> Produtividade, disponibilidade mecânica e eficiência operacional do conjunto trator-subsolador nas diferentes profundidades de tratamento e solos A e B.] .....	31
<b>Tabela 4:</b> Granulometria média do solo A nas profundidades avaliadas.....	32
<b>Tabela 5:</b> Valores médios de umidade volumétrica (Uv) e densidade do solo (Ds), nos momentos antes (AS) e após a subsolagem a 40 cm de profundidade no solo (tratamento SA-40).....	33
<b>Tabela 6:</b> Valores médios de umidade volumétrica (Uv) e densidade do solo (Ds), nos momentos antes (AS) e após a subsolagem a 50 cm de profundidade no solo (tratamento SA-50).....	34
<b>Tabela 7:</b> Valores médios de resistência do solo a penetração (RP) nos momentos antes (AS) e após a subsolagem a 40 cm de profundidade (tratamento SA-40). ....	35
<b>Tabela 8:</b> Valores médios de resistência do solo a penetração (RP) nos momentos antes (AS) e após a subsolagem a 50 cm de profundidade (tratamento SA-50). ....	38
<b>Tabela 9:</b> Granulometria média do solo B nas profundidades avaliadas.....	45
<b>Tabela 10:</b> Valores médios de umidade volumétrica (Uv) e densidade do solo (Ds), nos momentos antes (AS) e após a subsolagem a 40 cm de profundidade no solo (tratamento SB-40).....	46
<b>Tabela 11:</b> Valores médios de umidade volumétrica (Uv) e densidade do solo (Ds), nos momentos antes (AS) e após a subsolagem a 50 cm de profundidade no solo (tratamento SB-50).....	46
<b>Tabela 12:</b> Valores médios de resistência do solo a penetração (RP) nos momentos antes (AS) e após a subsolagem a 40 cm de profundidade (tratamento SB-40).....	47
<b>Tabela 13:</b> Valores médios de resistência do solo a penetração (RP) nos momentos antes (AS) e após a subsolagem a 50 cm de profundidade (tratamento SB-50).....	50

## RESUMO

Saulo Boldrini Gonçalves. Avaliação da qualidade da subsolagem em diferentes condições de solo.

A subsolagem é uma operação do preparo do solo que se consolidou na área florestal devido a seus efeitos benéficos para as plantas e vantagens operacionais. Mas qual seria o equipamento ideal a ser utilizado em cada condição de solo e qual a profundidade a ser trabalhada? Este trabalho objetivou realizar uma avaliação operacional e de qualidade do preparo mecanizado em diferentes solos e profundidades para a implantação florestal. Os dados foram coletados nas áreas operacionais da empresa Klabin S.A, localizada no município de Telêmaco Borba, PR. Foi estudado o sistema de preparo do solo composto por um trator de esteiras equipado com subsolador. Foram alocadas parcelas amostrais nas áreas florestais contemplando dois solos: Latossolo Vermelho de textura muito argilosa (solo A) e Latossolo Vermelho Amarelo de textura arenosa (solo B). Os tratamentos foram às profundidades de trabalho do subsolador a 40 e 50 cm no solo A (SA-40 e SA-50) e as mesmas profundidades para solo B (SB-40 e SB-50). Inicialmente foi determinado a disponibilidade mecânica, a eficiência operacional e a produtividade do equipamento na execução do preparo mecanizado do solo. Por fim, foi realizado uma avaliação da qualidade da operação de preparo mecanizado do solo, por meio da determinação da resistência do solo à penetração de raízes (RP), profundidade, formato do sulco e distância entre linhas de sulco. Os dados de qualidade foram analisados com uso de ferramentas de controle da qualidade (gráficos de controle e histogramas). Os resultados mostraram que não houve alterações significativas ( $p < 0,05$ ) na disponibilidade mecânica, eficiência operacional e produtividade, nas diferentes profundidades de trabalho avaliadas dentro do mesmo solo. Os solos estudados apresentaram valores de RP acima do valor crítico (2 MPa) na camada de 0 a 40 cm de profundidade no momento antes da subsolagem. A classe de distância que apresentou maior valor de resistência do solo à penetração foi de 0 a 50 cm, explicado pelo maior tráfego das máquinas de colheita na margem do talhão. A profundidade e formato do sulco estavam sob controle do processo de preparo do solo para os tratamentos SA-40 e SA-50. O percentual das medidas de profundidade no centro do sulco, que atingiram o limite especificado pela empresa (50 cm para solos textura muito argilosa), foi de 22,6 e 40,6 % para os tratamentos SA-40 e SA-50 respectivamente. No solo B esse percentual foi de 55,0 e 84,6 % para SB-40 e SB-50, sendo o limite estabelecido pela empresa de 40 cm para solos arenosos respectivamente.

**Palavras-Chave:** Mecanização florestal; Subsolagem; Controle de qualidade.

## ABSTRACT

Saulo Boldrini Goncalves. Evaluating the quality of subsoiling in different soil conditions.

The subsoil is a tillage operation was consolidated in forest area due to its beneficial to plants and operational advantages effects. But there are several questions about what ideal to be used in each condition of the soil and the depth to be imaged equipment? This study aimed to perform an operational and quality assessment of mechanical preparation in different soils and depths for forest deployment. Data were collected in the company's operating areas of Klabin SA, located in the municipality of Telemaco Borba, PR. The was studied a mechanical preparation system with a Crawler tractor equipped with subsoiler. Sample plots were located in forest areas covering two soil: Latossolo Vermelho a very clayey soil (soil A) and Latossolo Vermelho Amarelo typic sandy texture (soil B). The treatments were the working depths subsoiler 40 and 50 cm in soil (SA-40 and SB-50) and the same depth to the soil B (SB-40 and SB-50). Initially it was determined the mechanical availability, operational efficiency and productivity of the equipment in the implementation of mechanized preparation of the soil. Quality data were analyzed with the use of quality control tools such as histograms and control charts . The results showed that there wasn't significant changes ( $p < 0.05$ ) in mechanical availability, operational efficiency and productivity in the depths of assessed work in the same soil A or B. Both soils had PR values above the critical value (2 MPa) in the layer 0-40 cm depth, in the pre subsoiling moment. The distance class that showed higher soil resistance to penetration was 0 50 cm. This fact is explained to increased traffic of harvesting machines on the edge of the stand. The depth and groove format were under the control of the process of soil preparation for the treatments SA- 40 and SA-50 , and lack of control for the treatments SB-40 and SB-50. The percentage of depth measurements in the center of the groove, which reached the company's specified limit (50 cm for clayey soils), was 22.6 and 40.6 % for the SA-40 and SA-50 treatments, respectively. In soil B, this percentage was 55. 0 and 84.6 % for SB-40 and SB-50, with the limit set by the company was 40 cm for sandy soils respectively.

**Keywords:** Forest mechanization; Subsoiling; Quality Control.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor de florestas plantadas no Brasil vem passando por uma significativa expansão desde a última década, devendo destacar a sua importância econômica, social e ambiental, contribuindo com a economia, geração de empregos e conservação do meio ambiente. Tal crescimento implica, portanto, na necessidade do aperfeiçoamento das técnicas e operações florestais para o aumento da eficiência operacional, melhoria dos processos produtivos, segurança do trabalho e desenvolvimento sustentável.

Na cadeia de produtividade florestal, destacam-se as operações de implantação florestal, com destaque ao preparo do solo, que é responsável em oferecer as condições necessárias para a instalação e o desenvolvimento das plantas. Entretanto, para a obtenção de altas produtividades e baixos custos das operações de implantação florestal é importante que o preparo do solo seja planejado e executado com maior eficiência, menor consumo de energia, maior qualidade e menor custo de produção.

Atualmente, a técnica mais empregada de preparo do solo é o cultivo mínimo ou preparo reduzido, que consiste de uma ou duas operações de preparo (no mínimo possível de movimentação do solo), ocorrendo apenas nas linhas de plantio, sendo a subsolagem, a principal operação adotada pelas empresas florestais.

O preparo do solo é uma prática que pode ser usada como medida para estabelecer as condições ideais para o crescimento radicular, sendo utilizados para isso diferentes tipos de máquinas e implementos. Dedecet al. (2007) relatam que as respostas das plantas não ocorrem diretamente ao preparo do solo, mas ao ambiente criado em função desta atividade, favorecendo a diminuição da resistência do solo à penetração de raízes, a maior movimentação de água, à aeração e à disponibilidade de água e de nutrientes no solo.

Além disso, as operações de preparo do solo requerem elevada demanda de energia, com elevado tempo de execução e custos de produção, que estão diretamente relacionadas com a profundidade de trabalho e o número de operações realizadas. Os mesmos autores citam ainda que, o preparo do solo varia de acordo com as características do solo, condições climáticas, finalidade, características das plantas daninhas, impedimentos físicos e resíduos vegetais existentes nas áreas a serem trabalhadas.

A subsolagem é uma operação de preparo do solo que se consolidou na área florestal devido aos seus efeitos benéficos para o desenvolvimento das plantas e suas vantagens

operacionais, como maior capacidade operacional e menor custo de produção, além de beneficiar a conservação do solo e o crescimento da floresta, por meio do rompimento de camadas compactadas (SASAKI e GONÇALVES, 2005).

Para a realização da subsolagem existem diversas marcas e modelos de máquinas e equipamentos disponíveis no mercado, sendo normalmente usados tratores agrícolas e/ou florestais com diferentes níveis de potência e tipos de rodados e equipados com diversos modelos de subsoladores. A subsolagem quando realizada em maiores profundidades exige maior força de tração, e conseqüentemente, tratores de maior potência, situação que pode acarretar em elevados custos de produção e perda na qualidade da operação.

Em geral, a profundidade e intensidade do preparo do solo deve ser mantida tão baixa quanto possível, permitindo ao mesmo tempo boas condições para o crescimento das plantas. Por isso, uma alternativa para controlar os problemas oriundos das operações de preparo do solo é a utilização de indicadores de qualidade, podendo citar a profundidade, o formato do sulco e a desagregação das camadas compactadas do solo.

Sendo assim, em função da importância e dos elevados custos da operação de subsolagem, existem alguns questionamentos que necessitam ser esclarecidos, como a definição do tipo de equipamento ideal para a realização das operações de preparo do solo, que ofereça maior produtividade, menor consumo de energia e melhor qualidade das operações nas diferentes condições operacionais, em termos de menor custo em diferentes condições de solo e profundidades de trabalho.

## 2. OBJETIVOS

Esta pesquisa teve por objetivo geral, realizar uma avaliação operacional e de qualidade do preparo mecanizado em diferentes solos e profundidades de trabalho, para a implantação de povoamentos florestais.

Especificamente, objetivou-se:

- a) Avaliar o ciclo operacional da subsolagem, determinando a disponibilidade mecânica, a eficiência operacional e a produtividade do equipamento nas diferentes condições operacionais; e
- b) Avaliar a qualidade da operação de subsolagem nas diferentes condições de solo e profundidades de preparo.



### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. Importância do setor florestal

O setor florestal brasileiro até o final da década de 60 era pouco expressivo dentro da economia brasileira, quando a indústria era incipiente e não possuía fontes seguras de abastecimento. Neste período, verificou-se uma exploração predatória dos recursos florestais. Entretanto, com a criação da política governamental de incentivos fiscais no final da década de 60, com o objetivo de diminuir a exploração indiscriminada dos recursos florestais naturais, e a implantação de florestas de rápido crescimento, o setor florestal tomou novo impulso (MACHADO, 2008).

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2013), o setor de florestas plantadas no Brasil destaca-se pela sua importância econômica, social e ambiental. Em relação ao aspecto econômico, o setor foi responsável, em 2012, por um valor bruto de produção da ordem de R\$ 56,3 bilhões e arrecadação de tributos de 7,6 bilhões (0,5% da arrecadação nacional). O saldo da balança comercial da indústria nacional de base florestal foi de US\$ 5,5 bilhões, ampliando a sua participação no superávit da balança comercial nacional de 19,1% para 28,1% em relação ao ano anterior.

No âmbito social, as atividades da cadeia produtiva do setor florestal contribuíram para a geração de 4,4 milhões de empregos diretos e indiretos, investimentos de R\$ 149 milhões em programas de inclusão social, educação e meio ambiente, bem como tem permitido a fixação de populações no campo e melhoria da qualidade de vida nas áreas rurais.

Por fim, quanto à questão ambiental, destaca-se a contribuição para a conservação da natureza e equilíbrio do ambiente na promoção da biodiversidade, recuperação e proteção de áreas degradadas, manutenção dos regimes hídricos, edáficos e da qualidade do ar e fixação de carbono.

Outro aspecto importante a ser destacado é a área plantada com florestas de rápido crescimento, onde segundo a ABRAF (2013), em 2012, a área de plantios de Eucalyptus e Pinus atingiu em torno de 6,66 milhões de hectares, implicando em um crescimento de 2,2% em relação ao indicador de 2011. Os plantios de Eucalyptus representaram 76,6% da área total e os plantios de Pinus em torno de 23,4%, sendo o Paraná o terceiro estado com maior concentração de plantios florestais ficando atrás somente de Minas Gerais e São Paulo, respectivamente.

Portanto, nota-se a importância do setor de florestas plantadas para o país e a necessidade de estudos que visem contribuir para o seu desenvolvimento, aumentando a produtividade e reduzindo os custos das atividades, com destaque para a implantação florestal, que representa elevados custos e é responsável pelo crescimento da floresta.

### **3.2. Implantação de povoamentos florestais**

A implantação de povoamentos florestais envolve várias operações, desde o preparo do solo até o completo estabelecimento da floresta, ocorrendo, geralmente, após o segundo ano do plantio. A espécie a ser usada dependerá da destinação final da madeira, sendo mais recomendável o uso de materiais adaptados para a região de plantio (PEREIRA et al., 2009), uma vez que a interação genótipo e ambiente é determinante para estabelecer o nível de produtividade de cada sítio.

Paiva (2007) ressalta ainda que, todas as operações exigem um planejamento prévio, com conhecimento das técnicas e seus cuidados necessários, não se esquecendo de observar a relação custo/benefício.

As operações sequenciais para a implantação e manutenção de povoamentos de eucalipto são listadas em Dalbem et al. (2008), Paiva (2007) e Pereira et al. (2009). Com a medição plani-altimétrica do local e a coleta de solos para análises realizadas, a primeira fase é a limpeza da área, combate inicial a formigas cortadeiras e construção de aceiros e carregadores internos e externos. Em seguida, procede-se à marcação e abertura de covas e adubação inicial ou marcação das linhas mestras da subsolagem e a operação da subsolagem, com aplicação de fosfato nas áreas mecanizáveis. A aplicação de herbicida deve ser feita perto da época do plantio, para aproveitar melhor o efeito residual da capina química. Seguem-se o plantio propriamente dito com replantio, irrigação (se necessária) e a adubação de arranque, nas áreas mecanizáveis.

As fases seguintes fazem parte da manutenção, envolvendo coroamentos, roçadas, aplicação de herbicida, conforme a necessidade e o tipo de infestação de ervas na área. As adubações são programadas de acordo com o resultado da análise de solo, em que são definidos os tipos de adubos e corretivos e suas respectivas doses e frequências. Geralmente são realizadas entre 12 e 18 meses após o plantio, quando o povoamento atinge o final do processo de implantação, havendo encontro das copas das árvores e o fechamento do dossel.

Por isso, a sistemática de implantação florestal depende da finalidade do plantio florestal, da cobertura vegetal ou ocupação anterior da área a ser utilizada e da disponibilidade de recursos. Os plantios visando produção, em geral, são estabelecidos mediante práticas silviculturais que contemplam todos os possíveis fatores de crescimento (FERREIRA, 2008).

### **3.3. Mecanização das atividades florestais**

As operações agrícolas mecanizadas devem ser planejadas de forma racional, a fim de que haja aumento da rentabilidade no campo (TOLEDO et al., 2010). Oliveira Júnior et al. (2009) complementam que a determinação e a quantificação das variáveis de influência são fatores determinantes para o planejamento e o sucesso das operações, contribuindo sobre maneira com a otimização e a viabilidade econômica das atividades florestais.

Os métodos de preparo mecanizado do solo para produção florestal existentes no Brasil são variáveis, podendo ser agrupados em duas categorias: cultivo mínimo e convencional, caracterizados pela utilização de determinadas práticas e equipamentos que devem ser adaptados às condições pedológicas locais, devendo-se evitar generalizações (COSTA, 2000).

O cultivo mínimo do solo prevê a realização de um preparo localizado apenas na linha de plantio ou abertura de covas, sendo que a subsolagem e o coveamento são as principais operações de preparo de solo desse sistema (GONÇALVES et al., 2000). Já o cultivo convencional contempla um amplo revolvimento das camadas superficiais do solo, com a incorporação total ou parcial dos resíduos culturais. Neste método, podem ser usados como implementos, o arado, a grade leve e pesada, a grade “bedding”, dentre outros (GONÇALVES e STAPE, 2002).

A implantação de florestas a partir do cultivo mínimo resulta em inúmeras vantagens técnicas, econômicas e ecológicas, tais como: redução da erosão do solo, redução da reinfestação de plantas invasoras e menor intervenção operacional nas áreas de cultivo; maior facilidade de controle das atividades e da administração dos trabalhos; e redução dos impactos sobre os organismos do solo (GAVA, 2002).

A eficiência dos métodos de preparo do solo depende de diversos fatores, dentre eles, os tratores e implementos utilizados, sendo que o trator é a fonte de potência para o preparo mecanizado do solo de maior importância econômica (WICHERT e MOURA, 2001), enquanto o subsolador é o implemento amplamente utilizado no preparo do solo no cultivo mínimo, com função de sulcar e descompactar o solo (BALASTREIRE, 1990).

Os subsoladores são equipados com uma barra porta-ferramentas, haste de aço plana e ponta, podendo ser de arrasto ou acoplados no sistema hidráulico dos tratores (BURLA, 2001). As hastes possuem três formatos: reta, curva ou parabólica, podendo ainda apresentar aletas, nas suas pontas, com o objetivo de aumentar o volume do solo mobilizado.

Segundo Balastreire (1987), para se ter uma correta utilização de subsoladores deve-se dispor de conhecimentos suficientes sobre as características do solo trabalhado e a operação a ser realizada com o equipamento. Isto envolveria conhecer fatores como: a compactação existente, o teor de água, as plantas de cobertura na superfície, a textura e estruturado solo. Além disso, deve-se determinar quando do uso do equipamento, a profundidade de trabalho, o espaçamento entre hastes, as dimensões e formatos das hastes, a potência necessária entre outros fatores.

### **3.3.1. Desempenho operacional**

De acordo com Mialhe (1974), o desempenho operacional de um sistema mecanizado de preparo do solo pode ser definido como um complexo conjunto de informações que determinam, em termos quali-quantitativos, os atributos para a execução das operações sob determinadas condições de trabalho. As informações podem ser pertinentes às características operacionais (qualidade e quantidade do trabalho), dinâmicas (potência requerida e velocidade de trabalho) e de manejo das máquinas e equipamentos (regulagens, reparos e manutenções).

Desta forma, Mialhe (1996), define ainda o desempenho teórico como aquele que o projetista do equipamento utiliza para o dimensionamento, execução dos cálculos estruturais e obtenção do desempenho operacional, por meio de parâmetros que representam o comportamento da máquina sob determinadas condições de trabalho.

A capacidade operacional de um sistema mecanizado pode ser caracterizada como:

a) efetiva, dado pela razão entre o desempenho atual em determinado tempo e o tempo total programado; b) teórica, como a razão de desempenho obtido caso a máquina esteja 100% do tempo em velocidade nominal, utilizando 100% de sua largura nominal (BALASTREIRE, 2000); e c) operacional, que representa a capacidade da máquina ou implemento no campo, incluindo os efeitos de fatores de ordem operacional, como os tempos consumidos no preparo e as interrupções requeridas pelo trabalho quando em operações no campo (MIALHE, 1974).

Gamero e Lanças (1996) citam algumas variáveis que podem ser mensuradas na avaliação do desempenho operacional de máquinas de mobilização periódica do solo, dentre os

quais cita-se: largura de corte (teórica, efetiva e operacional), velocidade de deslocamento, força de tração, consumo horário de combustível, consumo de combustível, e capacidade de campo efetiva.

Por isso, para a avaliação do correto desempenho operacional das máquinas, Balastreire (1990), Srivastava et al. (1993) e Gamero e Lanças (1996) afirmam a necessidade de obter um conhecimento suficiente sobre as características do solo trabalhado, tais como a compactação; o teor de água; a cobertura existente sobre a superfície; a textura e a estrutura do solo; características de operação do equipamento como a profundidade de trabalho, espaçamento entre haste, potência necessária, dimensões e formatos das hastes.

Bicudo (1990) ao avaliar um subsolador com haste parabólica em um Nitossolo Vermelho de textura muito argilosa nas profundidades de 30, 40 e 50 cm, verificou que a subsolagem realizada na profundidade de 50 cm provocou o aumento na força de tração e no consumo horário de combustível. Por outro lado, provocou menores valores de área útil trabalhada e de capacidade de campo efetiva.

### **3.3.2. Estudo de tempos e movimentos**

O estudo de tempos e movimentos foi definido por Barnes (1977) como o estudo sistemático dos processos de trabalho para atingir os seguintes objetivos: desenvolver o método adequado ou preferido, usualmente aquele de menor custo; padronizar o sistema e método de trabalho; determinar o tempo consumido por uma pessoa qualificada e devidamente treinada, trabalhando num ritmo normal para executar uma tarefa ou operação específica; e orientar o treinamento do trabalhador no método preferido.

Segundo Barnes (1977), existem três métodos de cronometragem para a realização do estudo de tempos e movimentos:

a) Método de tempo contínuo: a medição do tempo ocorre sem a detenção do cronômetro, ou seja, de forma contínua. A leitura é realizada no ponto de medição e a anotação do tempo feita conforme indicado no cronômetro. O tempo do elemento é obtido posteriormente por subtração, sendo indicado quando existe a necessidade de identificação de um elemento do ciclo. O método é útil para pesquisas em que se deseja identificar as diferentes atividades parciais e sua seqüência.

b) Método de tempo individual: o cronômetro é detido em cada ponto de medição, sendo que em cada, os ponteiros voltam para a posição zero. Não é necessário fazer subtrações dos tempos e o tempo de cada elemento é obtido diretamente, diminuindo a incidência de erros de transcrição ou de análise.

c) Método multimomento: neste caso não se medem os tempos do ciclo operacional, mas sim, a sua frequência em intervalos de tempos pré-determinados. Entre as vantagens do método, está a possibilidade de se observar vários trabalhadores simultaneamente e mensurar as atividades parciais de pequena duração.

Portanto, por meio do estudo de tempos e movimentos são obtidas as informações mais importantes para a tomada de decisões em relação ao planejamento e execução do trabalho. De forma geral, os objetivos do estudo de tempos e movimentos envolvem medição do tempo total e parciais necessários para realizar determinada tarefa, obtendo o registro do resultado do trabalho durante estes tempos (rendimento) e permitindo compreender os fatores que exercem influência sobre a atividade desenvolvida (FENNER, 1991).

A importância dos estudos de tempos e movimentos se dá em vários aspectos, principalmente quando se relaciona às suas inúmeras aplicações. As informações relativas aos custos de todas as etapas de implantação de um projeto são extremamente necessárias para a viabilização de recursos utilizados na execução de cada fase do trabalho. Aliado a isso, os custos dos investimentos, juntamente com as receitas futuras a serem obtidas ao final do projeto, fazem parte da mola-mestra das análises de viabilidade do investimento (SILVA et al., 2004).

Além disso, Machado (1984) comenta que o estudo de tempos e movimentos tem influência fundamental na melhoria dos métodos operacionais e das condições de trabalho, permitindo a obtenção de análises do processo produtivo, das atividades, da relação homem-máquina e das operações em geral. O controle da produção e de custos operacionais é essencial na organização de um empreendimento, influenciando sobre os rendimentos, as condições de trabalho e o aproveitamento da mão-de-obra e da máquina.

### **3.4. Preparo do solo**

O preparo do solo compreende um conjunto de práticas que, quando usadas racionalmente, podem manter ou elevar os índices de produtividade de uma área e, a médio e longo prazo, reduzir a erosão hídrica e eólica e melhorar a relação custo benefício dos recursos disponíveis: mão-de-obra, máquinas e implementos, combustíveis e insumos. Quando

inadequadamente utilizadas, as técnicas de preparo do solo podem degradar física, química e biologicamente o solo em poucos anos de uso, reduzindo o seu potencial hídrico (GONÇALVES et al., 2000; GONÇALVES et al., 2002; STAPE et al., 2002).

Para Gatto (2003), o preparo do solo consiste no conjunto de operações que antecedem ao plantio e tem por objetivo garantir a disponibilidade de quantidades suficientes de água e nutrientes para o rápido estabelecimento das mudas, por meio do revolvimento mais ou menos localizado.

Nas décadas de 60 e 70, o preparo de solo nas áreas reflorestadas passou a ser realizado pela eliminação dos resíduos da vegetação por meio da queima e o posterior revolvimento intenso de todo o solo da camada superficial, situação semelhante ao utilizado nos cultivos agrícolas convencionais (MOLIN; SILVA JÚNIOR, 2003).

Atualmente, o método de preparo do solo mais utilizado é o cultivo reduzido do solo (cultivo mínimo), que é realizado apenas na linha de plantio, em uma largura e profundidade menores que 50 cm. Nesse método, a maior parte dos resíduos culturais são mantidos sobre a superfície do solo (GONÇALVES et al., 2000), sendo considerado um método conservacionista, porém desde que se mantenha os resíduos culturais em pelo menos, 30% da superfície do solo ou em 1 t/ha (BRADY e WEIL, 1999 e ASAE, 2001;).

O preparo do solo por meio do cultivo mínimo pode ser adotado em qualquer tipo de relevo. Em áreas acidentadas, o cultivo mínimo fica restrito à abertura de covas em conjunto com a aplicação de adubos. Em áreas planas ou suave-onduladas, o preparo consiste, normalmente, na subsolagem realizada entre 30cm e 40 cm de profundidade (NICHOLS, REED e REAVES, 1958).

O preparo do solo visa a sua desagregação, diminuindo a resistência à penetração e facilitando o desenvolvimento do sistema radicular das árvores que passam a explorar maior volume de solo, aumentando sua absorção de água e nutrientes (LETEY, 1985; SCUMACHER, 1995; FINGER et al., 1996; FERNANDES e SOUZA, 2001; STAPE et al., 2002).

#### **3.4.1. Operação de subsolagem**

A realização da subsolagem no setor florestal está estreitamente relacionada à difusão do cultivo mínimo, objetivando a baixa mobilização mecânica e a manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo. A subsolagem tornou-se uma operação comum, empregada na maioria das plantações florestais (GAVA, 2002).

A subsolagem é uma técnica utilizada para romper as camadas de solo que tenham sofrido compactação, ou mesmo, horizontes de solos mais densos. O rompimento das camadas compactadas traz benefícios imediatos, como a diminuição da resistência do solo à penetração das raízes e o aumento no volume dos macroporos. Esses benefícios melhoram a aeração e a drenagem interna do solo, pois permitem que o fluxo vertical da água seja mais rápido, provocando menores taxas de escoamento superficial e tempo de encharcamento do solo (CASSEL, 1979; TAYLOR e BELTRAME, 1980).

Segundo Sasaki e Gonçalves (2005), no meio florestal o uso do subsolador se consolidou para a execução do preparo do solo devido às suas vantagens operacionais (maior capacidade de trabalho) e econômicas (menor custo). É um método que aumenta a sobrevivência e o crescimento das mudas, pois propicia o alcance das raízes nas maiores profundidades, menor exposição do solo, reduzindo perdas por erosão, e também, por estar relacionado à difusão do cultivo mínimo.

No preparo do solo para o plantio de eucalipto no sistema de cultivo mínimo, os subsoladores são os principais implementos usados. Eles são caracterizados por operar em profundidades de 45 a 75 cm, ou mais, promovendo pouca mistura e nenhuma inversão de solo (SRIVASTAVA et al., 1993). Conforme Nichols, Reed e Reaves (1958), a subsolagem é realizada normalmente entre as profundidades de 30 a 40 cm, porém em alguns casos, pode atingir até 60 cm.

As hastas dos subsoladores são alocadas no solo, provocando o seu rompimento para frente, para cima e para os lados, tridimensionalmente e em blocos. É importante mencionar que, o solo não é cortado, mas sim rompido nas suas linhas de fraturas naturais ou por meio das interfaces dos seus agregados. Com isso, a mobilização feita por esses equipamentos é menos agressiva do que aquelas nas quais as lâminas cortam o solo de forma indiscriminada e contínua, como nos arados e grades, destruindo sua estruturação original (LANÇAS, 2002).

O tipo de haste mais usado no preparo do solo para florestas é a parabólica, pois exige menos força de tração, desde que o seu trecho curvo fique totalmente fora do solo, evitando a presença de componentes que forcem o subsolador para cima (BALASTREIRE, 1990; BURLA, 2001).



### 3.4.2. Indicadores da qualidade do solo

No setor florestal, um dos principais fatores que influencia na qualidade do solo são os problemas relacionados à compactação dos solos florestais, podendo ser causados pelas operações que antecedem o preparo mecanizado do solo, tais como corte, carregamento e transporte da madeira (BARROS, 2001).

Oliveira Júnior (1998) define a compactação como o aumento da concentração de massa por deslocamento indiscriminado das partículas. A compactação, além de ser um impedimento mecânico ao crescimento radicular, afeta os processos de aeração, condutividade ao ar, à água e ao calor, infiltração e redistribuição da água, além dos processos químicos e biológicos (CAMARGO e ALLEONI, 1997). Para Queiroz-Voltan et al. (2000) a compactação começa afetando o crescimento radicular, com consequências para a parte aérea e produtividade

Em relação aos efeitos da compactação sobre o crescimento de plantas, Fernandez et al. (1995) observaram que os danos no solo, ocasionados por equipamentos de extração de madeira, apresentaram efeitos negativos sobre a produtividade de *Pinus taeda* aos quatro anos de idade. Moehring e Rawls (1970) relataram que a compactação reduziu a sobrevivência de árvores em áreas replantadas em até 57%. Já Lockaby e Vidrine (1989) citado por Camargo (1999) constataram reduções significativas no crescimento em altura de uma floresta de *Pinus taeda*, variando entre 40 e 60%. De forma geral, o tráfego da maquinaria e a força de tração aplicada sobre a superfície do solo causam uma deformação na sua estrutura, podendo promover a movimentação das partículas, causando prejuízos à estrutura, constituição física e química do solo, e no crescimento das plantas (SILVEIRA, 2001).

De acordo com Taylor et al. (1982) citado por Silva et al. (2007), quando se trata de máquinas grandes, a carga aplicada por eixo parece exceder a influência da pressão do pneu na compactação, principalmente na camada superficial de 20 a 50 cm. Hakansson e Danfort (1981) consideram que cargas superiores a 6 toneladas por eixo podem causar significativa compactação abaixo de 40 cm.

Segundo Raper e Erbach (1990), a distribuição da compactação no perfil do solo, se dá de acordo com a carga aplicada, a pressão exercida pelos rodados das máquinas, a umidade do solo e a intensidade de tráfego recebida. Warkotsch et al., (1994) verificaram que dependendo da relação carga/distribuição nas rodas dos veículos, a compactação de um solo pode chegar até 80 cm de profundidade, ressaltando que a compactação máxima situa-se na profundidade entre 30 e 55 cm.

O efeito da intensidade de tráfego já foi comprovado em muitos estudos, que constataram que o tráfego repetido em uma mesma área provoca danos à estrutura do solo, com conseqüente redução no rendimento na produção das culturas (HAKANSSON e REEDER, 1994; LAL, 1996).

#### **3.4.2.1. Resistência do solo a penetração (RP)**

A resistência do solo à penetração é um atributo utilizado na maioria das pesquisas para avaliar a compactação do solo, e vem se destacando por estar diretamente relacionado ao crescimento das plantas (LETEY, 1985), sendo de fácil e rápida determinação (STOLF, 1991). A resistência do solo à penetração apresenta relação direta com a textura e a densidade do solo e inversa com a umidade (ROSOLEM et al., 1999).

Para Voorhees et al. (1978), a resistência à penetração é um indicador mais sensível da compactação do que a densidade do solo. Estes autores constataram que para o mesmo tráfego de veículos sobre o solo, a densidade aumentou 20%, ao passo que a RP aumentou 400%.

Baver et al. (1973), dizem que os solos arenosos apresentam menor resistência à penetração do que solos argilosos, explicado pela força de coesão menos intensa que os grãos de areia apresentam. Gomes e Peña (1996) verificaram que pequenas variações na densidade causam acentuadas variações na resistência do solo à penetração e, que, o efeito da umidade é maior em solos mais compactados e mais argilosos.

Cavichiolo et al (2003) verificaram que a RP do solo aumentou em função de sua densidade tanto em solo de textura média quanto argilosa em área de rebrota de *E. saligna*. Segundo Rosolem et al. (1999), solos com conteúdo de argila acima de 40 % têm maior resistência à penetração, enquanto que em solos arenosos, o incremento da resistência em função da compactação é menos acentuado.

Quanto ao efeito da umidade, Taylor e Ratliff (1969), Eavis (1972), Baver et al (1973), Towner (1974), e Swain e Spoor (1977), relacionam a diminuição da resistência à penetração a aumentos na umidade do solo. Para Klein et al. (1998), pequenas reduções na umidade proporcionam incrementos acentuados da resistência do solo à penetração. Imhoff et al. (2000) demonstraram correlação negativa entre a RP e umidade e correlação positiva entre RP e densidade do solo.

Muitos autores citam vários valores críticos de resistência à penetração. No entanto, a maioria desses valores variam de 1,5 a 4,0 MPa (ROSOLEM et al., 1999), sendo 2,0 MPa aceito

como um valor que impede o crescimento radicular (RP crítica) (GREACEN e SANDS, 1980; WHALLEY et al., 1995; TORMENA et al., 1998). Whitman et al. (1997) verificaram que resistência à penetração superior a 1,0 MPa prejudicaram o desenvolvimento de mudas de *E. grandis*. Para Zou et al. (2000) o valor limite para o desenvolvimento do sistema radicular de espécies florestais é 3 MPa (RP restritiva).

### **3.5. Controle de qualidade no setor florestal**

A qualidade está diretamente ligada à satisfação do cliente interno ou externo, visando atender perfeitamente às suas necessidades, de forma confiável, acessível, segura e no tempo certo. E acrescenta que a qualidade é medida por meio das características dos produtos ou serviços finais ou intermediários da empresa. Inclui ainda a qualidade do produto ou serviço, da rotina da empresa, da informação, do treinamento, dos objetivos, da administração e das pessoas envolvidas no sistema (CAMPOS, 2004).

No período dos incentivos fiscais durante as décadas de 70 e 80, o objetivo era o plantio de florestas em larga escala, priorizando-se a quantidade em detrimento à qualidade. Não existia grande preocupação em aumentar a produtividade (TRINDADE, 2000). No início da década de 80, o instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) publicou um trabalho sobre os aspectos de controle de qualidade na área florestal. Logo após, surgiram os sistemas de vistorias ou auditorias de qualidade, que se difundiram por várias empresas do setor (TRINDADE, 2007).

Como destacam Rezende et al. (2000), o controle de qualidade não pode estar voltado apenas para o produto final obtido, mas deve abranger também todo o processo que envolve a atividade florestal. Deve-se procurar reduzir os custos e garantir a qualidade de cada etapa desse processo, para que se obtenha um produto final com qualidade e a custo competitivo.

Desenvolvendo um sistema de controle de qualidade em uma empresa florestal, abrangendo desde a produção de mudas até as operações silviculturais, Trindade (1993) concluiu que as técnicas de qualidade utilizadas no setor industrial podem ser aplicadas no setor florestal, desde que devidamente adequadas às situações existentes. Para garantir o correto funcionamento do sistema, o processo deve ser participativo, eliminando atritos entre os empregados e as equipes. Por fim, o sistema propiciou melhorias de qualidade em todo o processo produtivo.

Analisando o desenvolvimento do uso do controle de qualidade em uma empresa florestal para a produção de carvão vegetal, Almeida (2000) observou que o caráter

inspecionador do trabalho de rotina executado no campo, em meados da década de 1980, evoluiu para o controle de qualidade total, no início da década de 1990. A partir de então, segundo o autor, a empresa apresentou avanços na melhoria das condições de trabalho, treinamento e otimização de tarefas conforme os procedimentos operacionais, bem como o comportamento dos empregados em relação à solução dos problemas.

Fessel (2003) avaliou a qualidade das atividades de plantios manual e mecanizado de eucaliptos, bem como de preparo mecanizado do solo, em área pertencente a uma empresa florestal no ano de 2001. A partir dos itens de verificação e controle das atividades de preparo do solo e plantio, o autor, verificou que a qualidade das atividades não variou dentro de padrões aceitáveis pela empresa florestal.

Fernandes (2000) aplicou conceitos de qualidade em operações mecanizadas na produção de milho para silagem, na operação de escarificação para plantio de milho, a implantação do controle estatístico de processos proporcionou uma redução média da variabilidade, dos dados referentes a profundidade de trabalho, de 38,4% e um aumento de 45,0% dos dados dentro da faixa de valores pré-definidos na norma técnica.

### **3.5.1. Indicadores e padrões da qualidade do setor florestal**

Segundo Pasqua (1999), para avaliar um processo ou operação é necessário definir alguns indicadores dentro do processo produtivo, a fim de permitir a inferência do resultado final como adequado ou fora da qualidade desejada. Desta forma, as aspirações em relação à operação devem ser traduzidas em indicadores mensuráveis ou passíveis de avaliação, utilizando-se linguagem técnica e objetiva.

Os indicadores da qualidade criam uma base racional para a ação gerencial segura (MAIN, 1994). A definição e a seleção dos indicadores da qualidade e suas especificações devem ser feitas em conjunto com o corpo técnico da empresa ou oriundos de resultados da pesquisa (MILAN, 1998).

Para cada item de qualidade exigida ou demandada, uma característica técnica que seja mensurável é identificada, controlada e avaliada para um determinado produto ou serviço. Essa característica deve ser testada e compreendida pelos projetistas ou pessoas do processo e quando devidamente escolhidas e desdobradas, proporcionarão a certeza que a qualidade demandada pelo cliente será realizada (MAZUR et al., 1990).

Com relação ao preparo do solo, a profundidade de subsolagem foi utilizada por Corrêa et al. (1991) com o propósito de avaliar a quantidade do solo descompactado, enquanto Trindad (1993) utilizou a informação da profundidade de camada revolvida para avaliar a qualidade da operação.

Portanto, na implantação dos padrões de qualidade deve-se, primeiramente, conhecer a realidade de execução das operações, a fim de se definir os valores máximos e mínimos (amplitude) permitidos. Ao obter sucesso na primeira etapa, ou seja, alcançando-se a regularidade da rotina de trabalho, a diretoria deve assumir o gerenciamento das melhorias e estipular novos limites ou padrões de qualidade, adotando um processo de melhoria contínua dentro da empresa, sendo denominado de Kaizen (BONILLA, 1995).

### **3.5.2. Ferramentas do controle da qualidade**

#### **3.5.2.1. Gráfico de controle**

A carta ou gráfico de controle é um teste de hipótese do processo que está sob controle estatístico, podendo ser utilizada como informação gerencial com a finalidade de atingir os objetivos específicos da qualidade, com valores das médias das amostras, limite médio, limites superior e inferior de controle, respectivas siglas LM, LSC e LIC (MONTGOMERY, 1985 e STAHL, 1995).

Os pontos do gráfico de controle que estão “aleatoriamente em torno de um valor médio e cuja amplitude é aproximadamente constante” são indícios de processo controlado. Para as médias das variáveis, a análise pode ser feita observando-se nos gráficos de controle a condição de grupos de pontos que apresentam “tendências e mudanças bruscas” da característica. Para analisar a amplitude deve ser observada a condição de “alteração gradual” por aumento ou por redução. Essas análises permitem avaliações prévias da qualidade de matéria-prima, mão-de-obra, equipamentos e sazonalidades (DELLARETTI FILHO e DRUMOND, 1994; BONILLA, 1995; e VIEIRA, 1999).

O gráfico de controle pode ser empregado para avaliar a dinâmica de qualidade do solo de um conjunto mínimo de indicadores necessários, pertencentes a um plano de controle estatístico da qualidade. É um “instrumento” estatístico que revela mudanças de qualidade do solo devido aos fatores naturais ou gerenciados (LARSON e PIERCE, 1994).

Ao utilizar os gráficos de controle nas especificações dos indicadores, recomenda-se que antes se faça a estratificação para evitar sérios erros, especialmente no cálculo do limite superior de controle (LSC). Esse fato foi comprovado em pesquisa sobre qualidade de matéria-prima para indústria sucroalcooleira, onde esse tipo de erro metodológico prejudicava possíveis acordos com os fornecedores (SARRIÉS, 1997).

A implementação das cartas de controle no setor agrícola é necessária pela sua simplicidade gráfica, podendo ser construída pelo operador de máquinas devidamente treinado, permitindo uma “análise visual rápida e pontual” do seu trabalho, e possibilitando imediatamente a correção do indesejável ou prevenindo-se.

### **3.5.2.2. Histograma**

O histograma é um gráfico de colunas utilizado na estatística, composto de vários retângulos adjacentes, representando a tabela de freqüências com perda de informações (valores agrupados por classes) de um conjunto de valores. Na escala horizontal, marcam-se os intervalos de classes, e cada intervalo é a base de cada retângulo ou barra. Na escala vertical, marcam-se as alturas dos retângulos ou barras, que são as respectivas freqüências absolutas das classes (LOPES, 1999). O histograma permite uma “compreensão visual rápida dos resultados” de uma característica da qualidade de um processo (DELLARETTI FILHO e DRUMOND, 1994).

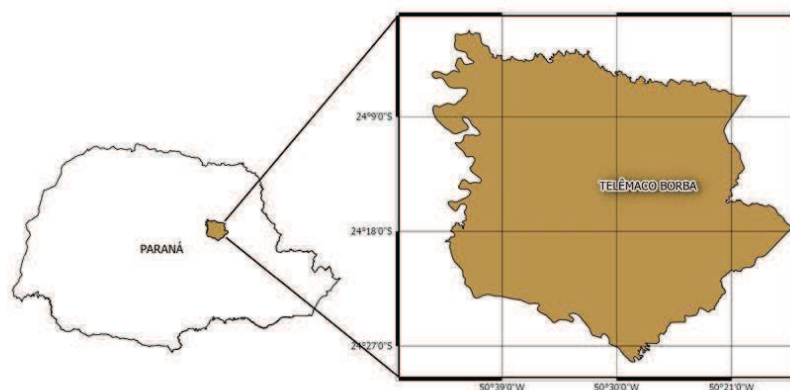
Paladini (2000) define o histograma como uma ferramenta na gestão da qualidade; assim descreve sua utilização:

“... Sua aplicação na gestão da qualidade tem um número considerável de utilidades. Inicialmente, exemplificam como se pode descrever, de forma simples e eficiente, uma dada situação; estimulam o uso de imagens como elementos básicos de descrição da realidade e induzem as pessoas a utilizar visões globais dos processos para melhor entendê-los. Dessa forma, sua aplicação tem reflexos na concepção e na implantação de processos gerenciais”.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada nas áreas operacionais pertencente à empresa Klabin S.A., localizada no município de Telêmaco Borba, Paraná, entre as coordenadas geográficas Latitude 24° 21' 24" Sul e Longitude 50° 37' 18" Oeste e altitude média de 760m (Figura 1).



**Figura 1.** Localização da região de realização da pesquisa.

O clima predominante da região de estudo, segundo o sistema de classificação climática de Köppen, está situado entre as regiões Cfa e Cfb, definido como subtropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente, acima de 22° C, com verões quentes e geadas pouco frequentes. A umidade relativa do ar média anual encontra-se entre 70 a 80%, com precipitação média anual regularmente distribuída 1.600 mm (IAPAR, 2000). O relevo é predominantemente suave a ondulado.

O trabalho foi realizado em áreas da empresa com predominância de dois solos: Latossolo Vermelho distrófico (LVd) típico, A moderado, com relevo plano a suave ondulado de textura muito argilosa (Solo A); e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), cambissólico, A moderado, com relevo plano suave ondulado e, textura arenosa, (Solo B), (EMBRAPA, 2006).

Os dados referentes às características do povoamento anterior a operação de preparo do solo das áreas de estudo estão discriminados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Características do povoamento florestal das áreas de estudo.

<b>Solo</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
Espécie	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus taeda</i>
Idade de corte (anos)	10,5	32
Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	32,4	44,3
Número de árvores/ hectare	714	346
Número de desbastes	1	3
Espaçamento (m)	3,0 x 2,5	2,5 x 1,7
DAP médio (cm)	23,4	41,3
Volume médio/hectare (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	433	667

A coleta dos dados foi realizada no período de junho a agosto de 2013, onde a precipitação acumulada foi de 305, 93 e 5 mm, nos respectivos meses. A coleta foi regularizada sem haver interferência no ritmo normal de trabalho da Empresa.

#### **4.2. Descrição do sistema de preparo de solo estudado**

O estudo foi realizado contemplando o sistema de preparo mecanizado do solo pelo método de cultivo reduzido. O sistema de preparo era composto por duas operações subsequentes: limpeza dos resíduos da faixa do sulco e subsolagem propriamente dita. Para a limpeza dos resíduos na linha a ser subsolada utilizou-se um trator de esteiras da marca Komatsu, modelo D61EX- 15EO, com lâmina V-shear (lâmina em forma de V para rebaixamento de tocos) acoplada à frente da máquina (Tabela 2). Simultaneamente, a operação de subsolagem era realizada por um conjunto trator-subsolador. Neste trabalho foi avaliado somente a operação de subsolagem.

A operação de subsolagem foi realizada em todas as parcelas amostrais da área de estudo, a partir de um trator de esteiras da marca Komatsu, modelo D61EX-15EO, comprimento da esteira sobre o solo 2.600 mm e pressão sobre o solo 53 KPa. O trator foi acoplado ao subsolador de arrasto monohaste, “Bio Force”, da marca Savannah, modelo 430 NP para executar a operação de subsolagem nas linhas amostrais do talhão. O subsolador possuía disco de corte de galhada à frente da haste, aleta regulada para atingir 40 a 50 cm de profundidade no ponto central do sulco, haste em formato reta e ponteira com asas, discos de curva, rolo compressor e reservatório de fertilizantes de 700 kg. A operação de subsolagem era executada em conjunto com a fertilização de base.



Os dados referentes às características técnicas do conjunto trator subsolador estão discriminados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Características técnicas do conjunto trator-subsolador.

Trator de esteiras	Especificações técnicas
	Marca Komatsu, modelo D61EX-15EO, motor Komatsu SAA6D107E-1 (Diesel), potência bruta 170 HP/127 kW, rodados de esteiras, peso operacional de 19.000 kg e V-shear (lâmina em forma de V, de 3,86 m comprimento x 1,16 m altura).
Subsolador	Especificações técnicas
	Subsolador monohaste de arrasto Bio force da marca Savannah, modelo MountedPlow430 NP, peso 5390 Kg.

### 4.3. Delineamento experimental e procedimento amostral

A avaliação do sistema de preparo mecanizado do solo realizado pelo conjunto trator-subsolador foi conduzido no delineamento blocos completos casualizados, sendo definido dois experimentos e tratamentos:

a) Experimento A: conjunto trator-subsolador atuando no solo LVd de textura muito argilosa nas seguintes profundidades:

- Tratamento 1: profundidade de 40 cm (SA-40).
- Tratamento 2: profundidade de 50 cm (SA-50).

b) Experimento B: conjunto trator-subsolador atuando no solo LVAd de textura arenosa nas seguintes profundidades:

- Tratamento 1: profundidade de 40 cm (SB-40).
- Tratamento 2: profundidade de 50 cm (SB-50).

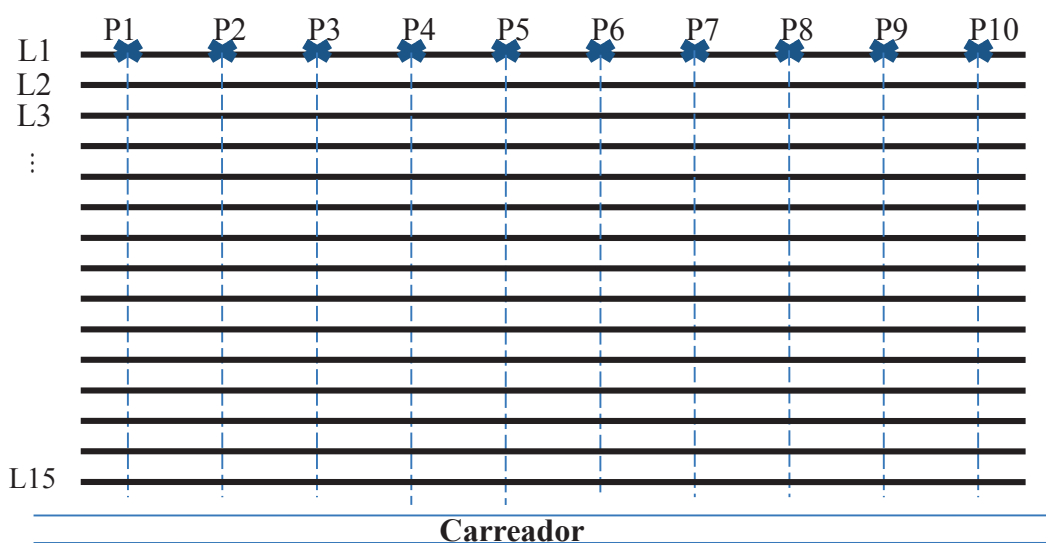
Para avaliação operacional do conjunto trator-subsolador foi realizado, inicialmente, um estudo piloto, de modo a definir o número mínimo de observações necessárias do ciclo operacional a um nível de confiança de 95% por meio da equação proposta por Conaw (1977) (Equação 1). Na operação de preparo do solo, cada linha foi considerada como um ciclo operacional:

$$n \geq \frac{t^2 CV^2}{E^2} \quad (1)$$

Em que:  $n$  = número mínimo de ciclos operacionais necessários;  $t$  = valor de  $t$ , Student, no nível de probabilidade desejado e  $(n-1)$  graus de liberdade;  $CV$  = coeficiente de variação (%);  $E$  = erro admissível (%).

A partir do conhecimento do número de observações necessárias para o conjunto trator-subsolador, definiu-se o tamanho mínimo das parcelas amostrais (área a ser preparada) em cada tratamento. A partir disso, com base no plano de preparo do solo da empresa durante o período de realização do estudo foram selecionados talhões contemplando os dois solos a serem estudados. As parcelas amostrais alocadas no interior dos talhões possuíam área de 12 hectares para cada tratamento.

Em relação à avaliação da qualidade, a amostragem foi realizada utilizando uma adaptação de Peche-Filho et al. (1994), Fernandes (2000) e Fessel (2003), que consideraram cada linha de preparo como uma unidade amostral composta.



**Figura 2.** Esquema de malha das parcelas mostrando as quinze linhas de preparo de solo (navertical) e os dez pontos amostrais por linha (na horizontal).

Foram amostradas 15 linhas de preparo do solo por tratamento de forma sistemática, totalizando 30 linhas em cada experimento. Nas linhas de preparo do solo foram obtidos 10 pontos, formando uma malha de 150 pontos amostrais em cada tratamento (Figura 2). A posição do ponto inicial da malha foi determinada pelo sorteio das distâncias em relação aos carregadores. As parcelas foram instaladas a uma distância mínima de 20 m dos carregadores, reservando-se essa distância para a estabilização das atividades.

#### **4.4. Análise operacional**

A análise operacional do conjunto trator-subsolador na execução do preparo do solo nos diferentes solos e profundidades foi realizada a partir de um estudo de tempos e movimentos, permitindo a análise do ciclo operacional do equipamento e determinação da disponibilidade mecânica, eficiência operacional e produtividade.

##### **4.4.1. Estudo de tempos e movimentos**

O estudo de tempos e movimentos foi realizado empregando-se o método de cronometragem de tempo contínuo, caracterizado pela medição do tempo sem a detenção do cronômetro. A leitura do cronômetro foi feita no ponto de medição referente à atividade parcial do ciclo operacional recém-concluída. Foram utilizados cronômetros centesimais, pranchetas e formulários de campo específicos desenvolvidos para esta finalidade.

O ciclo operacional do conjunto trator-subsolador foi subdividido nos seguintes elementos parciais: subsolagem da linha (SU), manobra ao final da linha (MA), interrupções (IN), descritos a seguir:

**Subsolagem da linha (SU):** iniciava-se no momento em que o conjunto trator-subsolador inseria o implemento no solo para realização da subsolagem, e terminava quando o equipamento encerrava o deslocamento ao final da linha, retirando o implemento do solo.

**Manobra ao final da linha (MA):** iniciava-se no momento em que o conjunto-trator retirava o implemento do solo, iniciando então o deslocamento para a outra linha a ser subsolada, e terminava quando o equipamento inseria o implemento no solo reiniciando a subsolagem.

**Interrupções (IN):** foram registrados como interrupções todos os tempos em que a máquina não estava realizando as atividades mencionadas anteriormente.

#### 4.4.2. Disponibilidade mecânica

A disponibilidade mecânica do conjunto trator-subsolador foi definido como a percentagem do tempo de trabalho programado em que o equipamento esteve mecanicamente apto a realizar o trabalho produtivo, desconsiderando o tempo em que esteve em manutenção corretiva ou preventiva, obtido por meio da equação 2:

$$DM = \frac{TE}{(TE + TM)} \times 100 \quad (2)$$

Em que: *DM* = Disponibilidade mecânica (%); *TE* = tempo de trabalho efetivo (hora); *TM* = tempo de manutenção (hora).

#### 4.4.3. Eficiência operacional

A eficiência operacional foi definido como a percentagem do tempo efetivamente trabalhado pelo conjunto trator-subsolador em relação ao tempo total programado, sendo determinada pela equação 3:

$$EO = \frac{TE}{(TE + TI)} \times 100 \quad (3)$$

Em que: *EO* = eficiência de operacional (%); *TE* = tempo de trabalho efetivo (hora); *TI* = tempo de interrupções (hora).

#### 4.4.4. Determinação da produtividade

A determinação da produtividade do conjunto trator-subsoladores diferentes tratamentos foi obtida por meio da relação entre a área subsolada (hectares) e as horas de trabalho efetivo do equipamento (equação 4).

$$PR = \frac{AS}{He} \quad (4)$$

Em que: *PR* = produtividade (ha/h); *A* = área subsolada (hectares); *He* = horas efetiva de trabalho (hora).

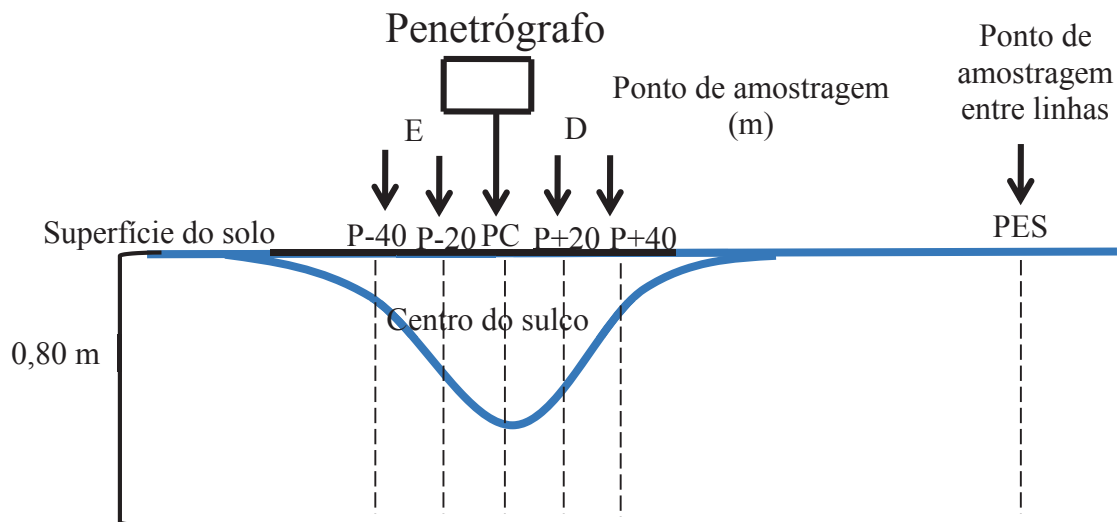
#### 4.5. Avaliação da qualidade no preparo do solo

A qualidade do preparo de solo foi avaliada a partir da determinação de três aspectos: resistência do solo à penetração, profundidade e formato do sulco e distância entre linhas de sulcos.

##### 4.5.1. Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração (RP) foi determinada em dois momentos: após a operação de colheita (AS-testemunha) e após a subsolagem. Ambas determinadas em cinco linhas da malha. Em cada uma dessas linhas foram alocados transectos, com o auxílio de uma trena, transversais ao sulco, sendo composto por seis pontos de coleta. Os pontos de coleta foram obtidos no ponto central do sulco (PC) e em pontos à esquerda (P -20 e P -40) e à direita (P +20 e P+40) do sulco de preparo, com intervalos equidistantes 20 cm entre si, além de um ponto entre as linhas de sulco (PES), conforme ilustrado na Figura 3.

Para a avaliação da resistência do solo à penetração foi utilizado um penetrógrafo eletrônico digital da marca Eijkelkamp, modelo 06.15.SA, equipado com uma ponta em forma de cone com ângulo de vértice de 60° e base de 1 cm<sup>2</sup> (11,28 mm de diâmetro nominal), com a velocidade de penetração controlada em 2 cm.s<sup>-1</sup>.



**Figura 3.** Esquema do procedimento de amostragem da resistência do solo à penetração na linha de sulco do preparo do solo (E = a esquerda do centro do sulco; D = a direita do centro do sulco).

A obtenção dos dados foi realizado conforme recomendações da Norma ASAE S 313 citado por Balastreire (1990), sendo as leituras realizadas em intervalos de 1 cm até a profundidade de 80 cm, obtendo-se duas leituras para cada ponto amostral, e posteriormente, usando-se o valor médio obtido entre as duas leituras.

O teor de água do solo foi avaliado por coletas aleatórias de 10 amostras de solo por parcela, nas camadas de 0 a 10; 10 a 20; 20 a 40 e 40 a 60 cm de profundidade, durante as coletas dos dados com o penetrógrafo. Foi utilizado o método gravimétrico para a determinação da umidade do solo, conforme metodologia proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 1997).

#### **4.5.2. Resistência do solo à penetração em diferentes distâncias do talhão**

A resistência do solo à penetração foi determinados momentos antes e após a subsolagem do talhão amostral, em quatro classes de distâncias: 0 a 50 m, 51 a 100 m, 101 a 150 m e 151 a 200 m. Em cada classe foram avaliadas dez linhas de subsolagem. Em cada uma dessas linhas foram alocados transectos com o auxílio de uma trena, transversais ao sulco, e composto por cinco pontos de coleta. Os pontos de coleta foram obtidos no ponto central do sulco (PC) e em pontos à esquerda (P-20 e P-40) e à direita (P+20 e P+40) do sulco de preparo, com intervalos equidistantes 20 cm entre si.

Para a avaliação da resistência do solo à penetração foi utilizado um penetrógrafo eletrônico digital da marca Eijkelkamp, modelo 06.15.SA, equipado com uma ponta em forma de cone com ângulo de vértice de 60° e base de 1 cm<sup>2</sup> (11,28 mm de diâmetro nominal), com a velocidade de penetração controlada em 2 cm.s<sup>-1</sup>.

A obtenção dos dados foi realizado conforme recomendações da Norma ASAE S 313 (Balastreire 1990). As leituras foram realizadas em intervalos de 1 cm até a profundidade de 80 cm, obtendo-se duas leituras para cada ponto amostral, e posteriormente, usando-se o valor médio obtido entre as duas leituras. Ao final da coleta das linhas amostrais de cada classe, foram somados os pontos amostrais PC, P-20, P-40, P+20 e P+40 de resistência, gerando uma linha média de resistência à penetração do solo por classe de distância em cada momento de subsolagem.

#### 4.5.3. Profundidade e formato do sulco

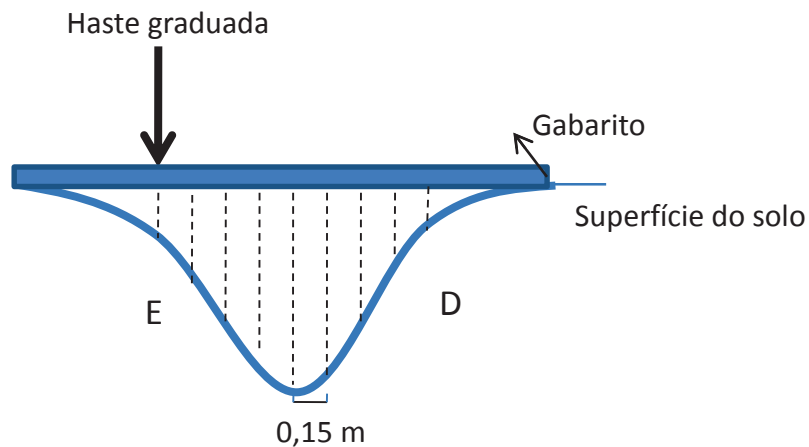
A amostragem da profundidade e formato do sulco após o preparo do solo foi realizada no sentido transversal ao sulco. Foram obtidos 10 amostras em cada uma das 15 linhas de preparo do solo, sendo obtidas em cada ponto amostral 9 medições equidistantes 15 cm entre si no sentido da largura do sulco.

A profundidade de formao do sulco foram determinados a partir de uma haste de ferro graduada e um gabarito, confeccionados no Laboratório de Colheita e Transporte Florestal da UNICENTRO, sendo adaptado de Trindade (2008) (Figura 4).



**Figura 4.** Gabarito utilizado para obtenção do formato e profundidade do sulco de preparo.

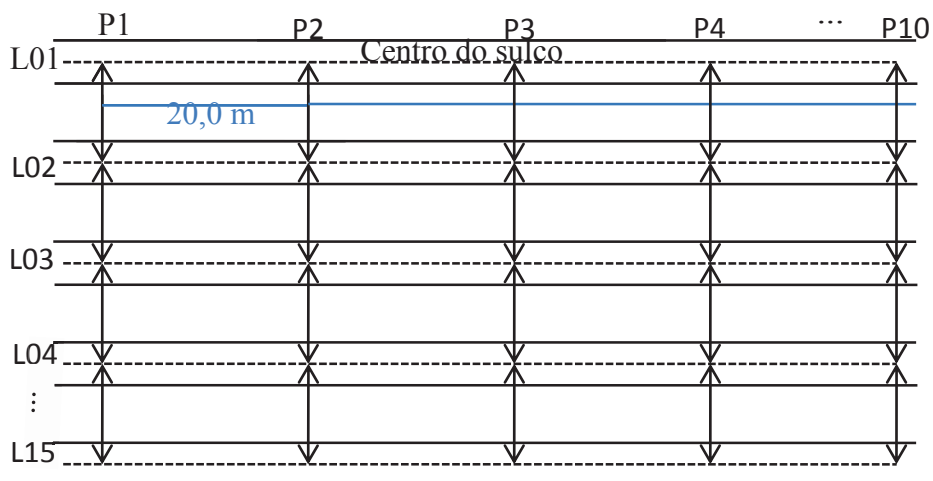
As medidas foram obtidas de uma extremidade a outra do sulco (Figura 5), sendo anotada em planilhas a campo, e posteriormente, tabuladas no programa Microsoft Excel para realização do cálculo do perfil do sulco de cada tratamento e verificação se o processo está sob controle. As medidas de formato e profundidade do sulco serviram como indicadores mensuráveis para verificação se a operação de preparo de solo (processo) está adequado ou fora da qualidade desejada.



**Figura 5.** Esquema da amostragem do formato e profundidade do sulco após o preparo do solo (locações das nove medidas; E = a esquerda do centro do sulco; D = a direita do centro do sulco).

#### 4.5.4. Distâncias entre linhas de sulco

A amostragem da distância entre as linhas de sulco do preparo do solo foi realizada em todos os dez pontos amostrais de cada linha da malha. O levantamento foi feito no sentido transversal às linhas, iniciado no ponto 01 da linha 01 até 15. Os pontos foram medidos a partir do ponto central do sulco de subsolagem ao ponto central da linha adjacente (Figura 6).



**Figura 6.** Esquema da amostragem da distância entre linhas de sulco.



#### 4.6. Ferramentas de qualidade utilizadas na avaliação da qualidade do preparo

A avaliação da qualidade foi realizada por meio do uso de Gráficos de Controle da média. A elaboração dos gráficos foi realizada no programa Microsoft Excel, seguindo as etapas propostas por Alves e Pieske (1997). O fator de ajuste da distribuição normal ( $c_2 = 0,922$ ) para a estimativa dos limites de controle foram reproduzidos de Paladini (1990).

Para a obtenção da estimativa das linhas médias e os limites dos Gráficos de Controle foram usadas as equações 5, 6 e 7 conforme Trindade et al., 2000:

$$LM = \bar{X} \quad (5)$$

$$LSC = \bar{X} + 3 \frac{S}{c_2 \sqrt{n}} \quad (6)$$

$$LIC = \bar{X} - 3 \frac{S}{c_2 \sqrt{n}} \quad (7)$$

Em que: *LM* é a linha média; *X* é o valor médio; *LSC* é o limite superior de controle; *S* é o desvio médio; *C<sub>2</sub>* é o fator de ajuste à distribuição normal, tabelado em função de *n*; *n* é o tamanho da amostra; *LIC* é o limite inferior de controle.

#### 4.7. Análise estatística

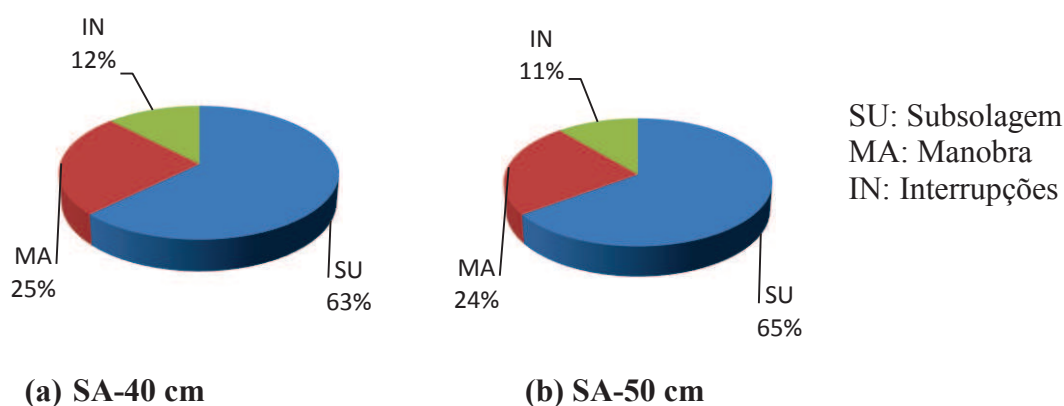
Os valores médios de produtividade do conjunto-subsolador e dos parâmetros de qualidade obtidos nos diferentes tratamentos foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias comparadas pelo teste de Tukey e pelo teste T a 5% de probabilidade.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Análise operacional

#### 5.1.1. Análise dos elementos do ciclo operacional

Na Figura 7 são apresentados os resultados médios referentes à distribuição percentual do tempo do ciclo operacional do conjunto trator-subsolador na execução da subsolagem nas profundidades de 40 e 50 cm no solo A de textura muito argilosa.

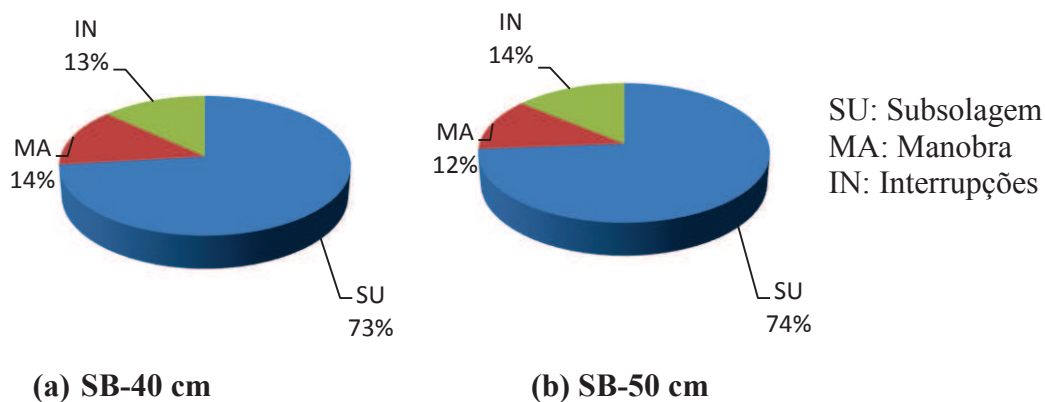


**Figura 7.** Distribuição percentual do ciclo operacional do conjunto trator-subsolador no solo A nos elementos: subsolagem, manobra e interrupções; (a): tratamento à profundidade de subsolagem de 40 cm; (b): tratamento à profundidade de subsolagem de 50 cm.

Como pode ser visto, o tempo de subsolagem foi de 63 e 65% e de manobras de 25 e 24% do tempo total, nas profundidades de 40 e 50 cm, respectivamente. Tal resultado demonstrou que o aumento da profundidade da haste de subsolagem de 40 para 50 cm não interferiu significativamente nos tempos dos elementos do ciclo operacional do conjunto trator subsolador para atividade de subsolagem no solo de textura muito argilosa.

Os resultados do estudo foram semelhantes aos encontrados por Simões; Silva; Fenner (2011) em avaliação do desempenho operacional da operação de subsolagem em área de implantação de eucalipto, em que o tempo consumido na operação de subsolagem foi de 65% do ciclo operacional. Entretanto, os tempos de manobra foram de 20% inferiores aos do estudo, onde este aumento de tempo pode ser atribuído aos talhões de pequena dimensão e formato irregular amostrados no solo A.

Na Figura 8 encontra-se a distribuição percentual do tempo do ciclo operacional do conjunto trator-subsolador nas profundidades de 40 e 50 cm no solo B de textura arenosa.



**Figura 8.** Distribuição percentual do ciclo operacional do conjunto trator-subsolador no solo B nos elementos: subsolagem, manobra e interrupções; (a): tratamento à profundidade de subsolagem de 40 cm; (b): tratamento à profundidade de subsolagem de 50 cm.

Como pode ser visto, os tempos de subsolagem e manobras praticamente não se alteraram, ocupando 73% e 14% do tempo total, respectivamente. Tal fato demonstrou que, assim como ocorreu no solo A, o aumento da profundidade de 40 para 50 cm na atividade de subsolagem, não influenciou os elementos do ciclo operacional do solo para solo B.

Ao comparar as Figuras 7 e 8, observa-se um aumento médio no elemento parcial subsolagem de 10% nos tratamentos do solo A para os do solo B. Esse aumento do tempo pode ser atribuído às dimensões e formato dos talhões amostrais do solo B, que possuíam maior comprimento de linhas de sulco possibilitando maior tempo de subsolagem e menor tempo de manobra. A textura do solo não influenciou nos tempos de subsolagem entre os tratamentos, visto que o conjunto trator-subsolador possuía força de tração suficiente para desempenhar a operação de subsolagem.

Com relação às interrupções, verifica-se que praticamente não se alteraram nos tratamentos do solo A, 12 e 11%, em relação aos do solo B, 13 e 14% nas profundidades de 40 e 50 cm, respectivamente. Esses dados demonstram que a profundidade de trabalho e a textura do solo não influenciaram de forma significativa no ciclo operacional do conjunto trator subsolador.

### 5.1.2. Análise da produtividade e eficiência operacional

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de produtividade média por hora de trabalho, a disponibilidade mecânica e a eficiência operacional do conjunto trator-subsolador na execução da subsolagem nas profundidades de 40 e 50 cm nos solos A e B.

**Tabela 3:** Produtividade, disponibilidade mecânica e eficiência operacional do conjunto trator-subsolador nas diferentes profundidades de tratamento e solos A e B.]

Solo	Tratamento	Produtividade (ha h <sup>-1</sup> )	Disponibilidade mecânica (%)	Eficiência operacional (%)
A	SA-40	1,157a	95,82a	70,53a
	SA-50	1,054a	95,15a	68,37a
B	SB-40	1,452b	96,72a	74,45b
	SB-50	1,353b	97,81a	76,22b
C.V. (%)		10,82	6,54	13,68

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Observando a Tabela 3, verifica-se que não houve diferença estatística na disponibilidade mecânica, eficiência operacional e produtividade entre os tratamentos SA-40 e SA-50. Os tratamentos do solo B também não obtiveram diferença estatística na disponibilidade mecânica, eficiência operacional e produtividade. Portanto, ficou evidente que nas condições estudadas, o aumento de 10 cm na profundidade de subsolagem não afetou a produtividade, disponibilidade mecânica e eficiência operacional do conjunto trator-subsolador.

Ao comparar os tratamentos inter-solos, nota-se que houve diferença significativa na produtividade e eficiência operacional do trator-subsolador entres os tratamentos dos solos A e B. A produtividade do tratamento SB-40 foi 20,3% maior em relação ao SA-40 e o tratamento SB-50 foi 22% superior ao SA-50. Tal resultado evidenciou a influência do formato do talhão, o solo B possuía linhas de maior comprimento do que as parcelas do solo A, assim tempo gasto com manobra foi menor e o de subsolagem maior consequentemente aumento da produtividade do conjunto trator subsolador nos tratamentos do solo B.

Pereira (2010), observou em seu estudo que a produtividade na operação de subsolagem foi de 1,147 ha/h e Simões; Silva; Fenner (2011), obtiveram resultados entre 1,60 e 1,69 ha/h. Os resultados obtidos neste trabalho foram semelhantes aos encontrados por esses autores.

Os valores médios de eficiência operacional obtidos nos tratamentos estudados foram semelhantes aos encontrados por Deere e Company (1975); Folle e Franz (1990); Silveira (2001) e Molin e Milan (2002), que preconizavam um percentual de eficiência operacional de 70 a 90%. Pereira (2010), em estudo desenvolvido com povoamentos de eucalipto em área declivosa, observou na operação de subsolagem com trator de pneu uma eficiência operacional média de 51,93%.

Os valores médios de disponibilidade mecânica dos tratamentos foram acima de 95%, sendo semelhantes aos obtidos por Simões; Silva; Fenner (2011), ao estudar o desempenho operacional de um trator agrícola empregado na operação de subsolagem em área de implantação de eucalipto e Pereira (2010), em análise técnica de povoamentos de eucalipto em área declivosa, observou a disponibilidade mecânica de 92,82% do conjunto mecanizado na operação de subsolagem.

## 5.2. Avaliação da qualidade do preparo do solo

### 5.2.1. Solo A de textura muito argilosa

#### 5.2.1.1. Caracterização do solo estudado

No solo A foram aplicados os tratamentos SA-40 e SA-50, classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), apresentou uma quantidade média de argila de 644 g kg<sup>-1</sup>, 159 gkg<sup>-1</sup> de silte e 197 gkg<sup>-1</sup> de areia total (Tabela 4), sendo, portanto, caracterizado como de textura muito argilosa.

**Tabela 4:** Granulometria média do solo A nas profundidades avaliadas.

Profundidade (cm)	Argila (g Kg <sup>-1</sup> )	Silte (g Kg <sup>-1</sup> )	Areia total (g Kg <sup>-1</sup> )
Solo A (textura muito argilosa)			
0 - 10	625	150	225
10 - 20	650	150	200
20 - 40	650	168	182
40 - 60	650	168	182
<b>Média</b>	644	159	197

Na Tabela 5 encontram-se os resultados de umidade volumétrica e densidade do solo nas camadas 0-60 cm, no momento antes e após o preparo do solo pelo conjunto trator-subsolador nas profundidades de 40 e 50 cm do solo de textura muito argilosa.

**Tabela 5:** Valores médios de umidade volumétrica ( $U_v$ ) e densidade do solo ( $D_s$ ), nos momentos antes (AS) e após a subsolagem a 40 cm de profundidade no solo (tratamento SA-40).

Camada (cm)	Umidade Volumétrica ( $m^3 m^{-3}$ )			
	AS	SA-40	C.V (%)	
0 – 10	0,281 a	0,252 b	6,44	
10 - 20	0,289 a	0,264 b	5,25	
20 - 40	0,292 a	0,275 b	5,68	
40 - 60	0,305 a	0,296 a	3,01	
Camada (cm)	Densidade do Solo ( $Mg m^{-3}$ )			
	0 – 10	1,39 a	1,41a	3,05
	10 - 20	1,46 a	1,44 a	3,26
	20 - 40	1,40 a	1,41 a	2,48
	40 - 60	1,35 a	1,34 a	2,10

\*Médias seguidas por letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste t ( $p < 0,05$ ). As letras comparam a umidade nos diferentes momentos de subsolagem (AS e SA-40) para a mesma profundidade; CV: coeficiente de variação.

A umidade do solo variou de 0,281 a 0,305  $m^3 m^{-3}$  no momento antes da subsolagem e de 0,252 a 0,296  $m^3 m^{-3}$  após a subsolagem. Além disso, verificou-se que a umidade apresentou diferenças significativas entre os momentos de subsolagem AS e SA-40 nas camadas 0-40 cm.

Já a densidade do solo não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos estudados. Os valores de  $D_s$  variaram entre 1,34 e 1,46  $Mg m^{-3}$  nas camadas de 0 a 60 cm, sendo que os maiores valores de densidade (1,46  $Mg m^{-3}$ ) foram encontrados na camada 10-20 cm do tratamento AS. Marcolin e Klein (2011), encontraram valores de  $D_s$  de 1,36, na profundidade 10-20 cm, em Latossolo Vermelho distrófico típico na cidade de Ibirubá no Rio Grande do Sul. Para Arshad et al. (1996), valores  $D_s$  superiores a 1,40  $Mg m^{-3}$  restringem o crescimento radicular em solo argiloso. No entanto o tráfego intensivo de máquinas pode ser o principal responsável pelo aumento da densidade e resistência do solo à penetração (RESENDE et al., 2011). Portanto esses elevados valores de densidade indicam uma possível camada compactada em decorrência da carga exercida pelas máquinas da colheita florestal.

Na Tabela 6 encontram-se os resultados de umidade volumétrica e densidade do solo, nas camadas 0-60 cm, no momento antes e após o preparo do solo pelo conjunto trator subsolador na profundidade de 50 cm no solo A.

**Tabela 6:** Valores médios de umidade volumétrica ( $U_v$ ) e densidade do solo ( $D_s$ ), nos momentos antes (AS) e após a subsolagem a 50 cm de profundidade no solo (tratamento SA-50).

Camada (cm)	Umidade Volumétrica ( $m^3 m^{-3}$ )			
	AS	SA-50	C.V (%)	
0 - 10	0,291 a	0,265 b	6,21	
10 - 20	0,298 a	0,271 b	5,45	
20 - 40	0,307 a	0,283 b	8,68	
40 - 60	0,317 a	0,294 b	7,11	
Camada (cm)	Densidade do Solo ( $Mg m^{-3}$ )			
	0 - 10	1,36 a	1,35 a	2,01
	10 - 20	1,42 a	1,41 a	3,40
	20 - 40	1,39 a	1,37 a	5,33
	40 - 60	1,34 a	1,33 a	3,06

\*Médias seguidas por letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste t ( $p < 0,05$ ). As letras comparam a umidade nos diferentes momentos de subsolagem (AS e SA-50) para a mesma profundidade; CV: coeficiente de variação.

Como pode ser visto, a umidade do solo apresentou diferenças significativas entre os momentos de subsolagem AS e SA-50, sendo que os valores médios de umidade variaram entre 0,291 a 0,317  $m^3 m^{-3}$  no momento antes da subsolagem, e 0,265 a 0,304  $m^3 m^{-3}$  após a subsolagem nas camadas avaliadas.

A densidade do solo não apresentou diferença estatística entre o momento antes e após a subsolagem. Os valores de  $D_s$  variaram entre 1,34 e 1,42  $Mg m^{-3}$  nas camadas de 0 a 60 cm, no momento antes da subsolagem e de 1,33 a 1,41  $Mg m^{-3}$  após a subsolagem. Valores semelhantes foram encontrados por Souza et al. (2009), estudando um Latossolo Vermelho argiloso que obtiveram valores de  $D_s$  entre 1,38 e 1,41  $Mg m^{-3}$ , respectivamente nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm. No entanto Cavalieri et al (2011), apresentaram valores  $D_s$  abaixo de 1,33  $Mg m^{-3}$  em solo similar ao LVd sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

### 5.2.1.2. Resistência do solo à penetração (SA-40)

Os valores médios de resistência do solo à penetração (RP) obtidos nas camadas 0-60 cm, no momento antes e após o preparo do solo pelo conjunto trator subsolador na profundidade de 40 cm nas parcelas amostrais do solo A são apresentados na Tabela 7.

É possível notar que, os valores médios de RP antes da operação de subsolagem (AS) variaram de 1,63 a 2,19 MPa nas camadas avaliadas, sendo a umidade média de  $0,290 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e densidade de  $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ . Os maiores valores (2,19 e 2,05 MPa) foram encontrados nas camadas de 10 a 40 cm de profundidade do solo, sendo tal fato relacionado à intensidade anterior do tráfego das máquinas de colheita na área. Froehlich et al. (1980), enfatizaram que a compactação causada pelas máquinas florestais, tinham maior intensidade próximo à superfície e decrescia rapidamente em profundidade.

**Tabela 7:** Valores médios de resistência do solo a penetração (RP) nos momentos antes (AS) e após a subsolagem a 40 cm de profundidade (tratamento SA-40).

Camada (cm)	Resistência do solo à penetração (MPa)		
	AS	SA-40	$\Delta$ RP (%)
0 - 10	1,76 a	0,78 b	-55,68
10 - 20	2,19 a	1,19 b	-45,66
20 - 40	2,05 a	1,63 b	-20,48
40 - 60	1,63 a	1,74 a	+6,32

\*Médias seguidas por letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste t ( $p < 0,05$ ). As letras comparam à resistência do solo a penetração nos diferentes momentos de subsolagem (AS e SA-40) para a mesma profundidade;  $\Delta$ : diferença considerando condição após e antes a subsolagem.

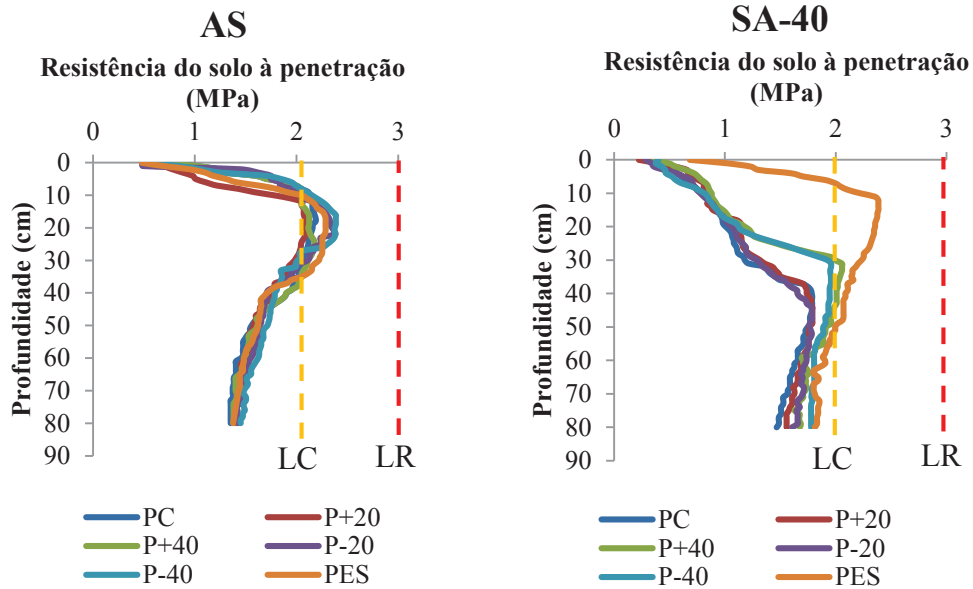
Após a execução da subsolagem na profundidade de 40 cm (SA-40), a RP apresentou valores de 0,78 a 1,74 MPa na profundidade 0 a 60 cm, sendo a umidade e densidade média de  $0,270 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e  $1,41 \text{ Mg m}^{-3}$ , respectivamente. Percebe-se que os valores médios de RP do tratamento SA-40 não ultrapassaram o valor crítico ao desenvolvimento das plantas, de 2 MPa (LAPEN et al. 2004). Sendo assim, ficou evidente a eficácia do tratamento SA-40 na quebra da camada compactada, pois não apresentou nenhum valor crítico de RP, nas diferentes camadas do solo.

As diferenças entre os valores de RP antes e após a execução da subsolagem (AS e SA-40) variaram de -55,68 a +6,32 % nas camadas avaliadas, sendo que as maiores diferenças foram encontradas nas camadas de 0 a 40 cm. Esse fato foi atribuído a ação da haste subsoladora na quebra da camada compactada do solo até a profundidade de 40 cm.

A diferença de +6,32 % entre os momentos de subsolagem, na camada de 40 a 60 cm, expressou um aumento nos valores de RP em profundidade. Porém, tal aumento não foi significativo, pois o valor de RP permaneceu abaixo do limite crítico para desenvolvimento das plantas (2 MPa), e a profundidade de 60 cm não prejudica o crescimento inicial do sistema radicular das mudas de eucaliptos sp.



A Figura 9 ilustra as curvas resultantes dos valores médios de RP, nas diferentes profundidades e pontos amostrais do solo, antes e após a aplicação da subsolagem a 40 cm de profundidade no solo de textura muito argilosa.



**Figura 9.** Valores médios de resistência do solo à penetração antes (AS) e após a aplicação da subsolagem a 40 cm de profundidade (SA-40) no solo textura muito argilosa. Em que: Pontos amostrais: Ponto Central do sulco (PC); Ponto 20 cm à direita (P+20); Ponto 40 cm à direita (P+40); Ponto 20 cm à esquerda (P-20); Ponto 40 cm à esquerda e Ponto Entre Sulco (PES); Limite Crítico (LC); Limite Restritivo (LR).

Observando-se a Figura 9, verifica-se que a resistência do solo à penetração antes e após a execução da subsolagem (AS e SA-40) no solo de textura muito argilosa apresentou um comportamento decrescente com o aumento da profundidade e da umidade do solo.

Os pontos amostrais antes da operação de subsolagem (AS) apresentaram curvas de RP de comportamentos semelhantes entre os diferentes pontos transversais da área. Além disso, as curvas apresentaram valores de RP acima de 2 MPa na camada de 10 a 40 cm, evidenciando a existência de maior compactação da área antes da execução da operação de subsolagem.

Após a realização da operação de preparo de solo com o conjunto trator-subsolador na profundidade de 40 cm (SA-40), observou-se que os valores médios de RP diminuíram significativamente em todos os pontos amostrais, principalmente até a profundidade de 40 cm devido à atuação direta da haste do subsolador sobre o solo. Por outro lado, ficou evidente que

a operação de subsolagem não contribuiu com a descompactação do solo na área entre os sulcos, Ponto Entre Sulco (PES).

As curvas dos pontos PC, P+20 e P-20 do tratamento SA-40 foram as que apresentaram redução mais significativa nos valores de resistência à penetração (36,5%), quando comparados aos mesmos pontos amostrais do tratamento AS na camada 0-40 cm. Tal fato ocorreu devido a proximidade dos pontos amostrais do centro do sulco, onde a atuação da haste do subsolador foi maior, provocando maior revolvimento do solo nestes locais.

Os pontos P+40 e P-40 apresentaram curvas com redução, aproximadamente 27% menor em relação às curvas de resistência a penetração do tratamento AS para mesma profundidade de 0 a 50 cm. Fato também explicado pela proximidade dos pontos amostrais do centro do sulco, por estarem mais distantes sofreram menos influência da haste do subsolador.

Essa redução da resistência do solo nos pontos P+40 e P-40 indicou que a haste subsoladora atuou no revolvimento do solo num raio de 40 cm do centro do sulco. Quanto maior a área de solo revolvido melhor será o ambiente para estabelecimento das mudas. Segundo Spoor (1975) citado por Dedeczek et al. (2007) as respostas das plantas não ocorrem diretamente ao preparo do solo, mas ao ambiente criado em função desta atividade, a qual favorece a movimentação da água, aeração e disponibilidade de nutrientes, sendo a profundidade a variável mais importante.

Por fim, é importante ressaltar que as curvas de resistência do solo à penetração nos pontos amostrais do tratamento SA-40 apresentaram uma leve curvatura para a direita, expressando um aumento dos valores de RP abaixo da camada de 40 cm de profundidade do solo. Esse aumento de resistência pode ser explicado pela diferença de umidade do solo entre os momentos de subsolagem (AS e SA-40). De acordo com Beltrame et al. (1981), para uma variação da umidade do solo, ocorre variação no sentido contrário na resistência do solo à penetração, pois o teor de água intervém nesse processo.

Na Tabela 8 encontram-se os valores médios de resistência do solo à penetração, nas camadas 0 a 60 cm, no momento antes e após o preparo de solo pelo conjunto trator-subsolador na profundidade de 50 cm no solo textura muito argilosa.

Como pode ser visto, antes da execução da operação de subsolagem, os valores médios de RP variaram de 1,59 a 2,41 MPa nas camadas 0 a 60 cm Tabela 8. Os maiores valores de RP (2,41 a 2,22 MPa) foram encontrados nas camadas de 10 a 40 cm, com uma umidade e densidade média de  $0,302 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e  $1,41 \text{ Mg m}^{-3}$ , respectivamente, podendo estar relacionado

com as operações de colheita de madeira com uso de máquinas de grande porte que trafegaram anteriormente na área.

**Tabela 8:** Valores médios de resistência do solo a penetração (RP) nos momentos antes (AS) e após a subsolagem a 50 cm de profundidade (tratamento SA-50).

Camada (cm)	Resistência do solo à penetração (MPa)		
	AS	SA-50	$\Delta$ RP (%)
0 - 10	1,59 a	0,84 b	-47,16
10 - 20	2,41 a	1,40 b	-41,90
20 - 40	2,22 a	1,65 b	-25,67
40 - 60	1,64 a	1,62 a	-1,21

\*Médias seguidas por letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste t ( $p < 0,05$ ). As letras comparam à resistência do solo a penetração nos diferentes momentos de subsolagem (AS e SA-50) para a mesma profundidade;  $\Delta$ : diferença considerando condição após e antes a subsolagem.

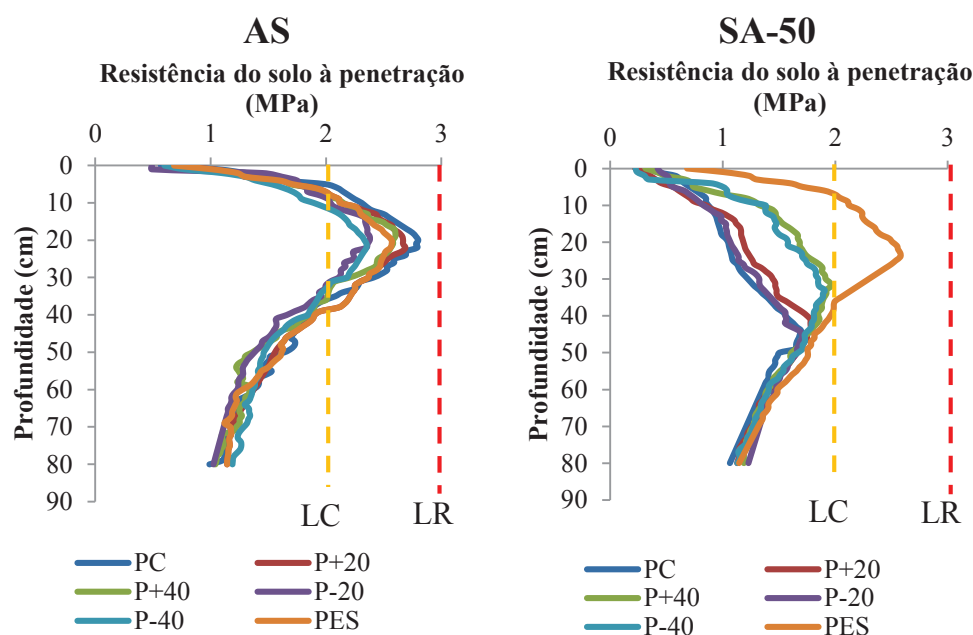
Os valores de RP apresentados no estudo foram superiores aos encontrados por Assis et al. (2009), que avaliando a RP em diferentes solos com variação do teor de água, obteve 1,13 MPa no solo de textura muito argilosa, com umidade de  $0,281 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e Ds  $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$ , na profundidade de 0 a 40 cm.

Após a realização da subsolagem na profundidade de 50 cm (tratamento SA-50), os valores médios de RP variaram de 0,84 a 1,62 MPa na profundidade 0 a 60 cm, sendo que no momento da operação, o solo apresentava uma umidade e densidade média de  $0,278 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e  $1,37 \text{ Mg m}^{-3}$ , respectivamente. Todos os valores de RP encontraram-se abaixo do limite de 2 MPa considerado crítico para desenvolvimento de culturas.

As diferenças dos valores de RP entre os períodos AS e SA-50 variaram de -47,16 % a -1,21 nas diferentes profundidades. Observou-se ainda que as diferenças foram todas negativas, valores  $\Delta$ RP (%), para as camadas de 0 a 60 cm. Isto demonstrou a maior influência da haste do subsolador na profundidade de trabalho de 50 cm no revolvimento do solo, causando a quebra da camada compactada em superfície e, conseqüentemente, a redução nos valores de RP.

A Figura 10 ilustra as curvas resultantes dos valores médios de RP, nas diferentes profundidades e pontos amostrais do solo, antes e após a aplicação da subsolagem a 50 cm de profundidade no solo de textura muito argilosa.

Os pontos amostrais antes da operação de subsolagem (AS) apresentaram curvas de RP de comportamentos semelhantes entre os diferentes pontos transversais à área a ser preparada. Os valores de RP decresceram em profundidade. Todas as curvas apresentaram valores de RP acima do Limite Crítico nas camadas superficiais de 0 a 40 cm.



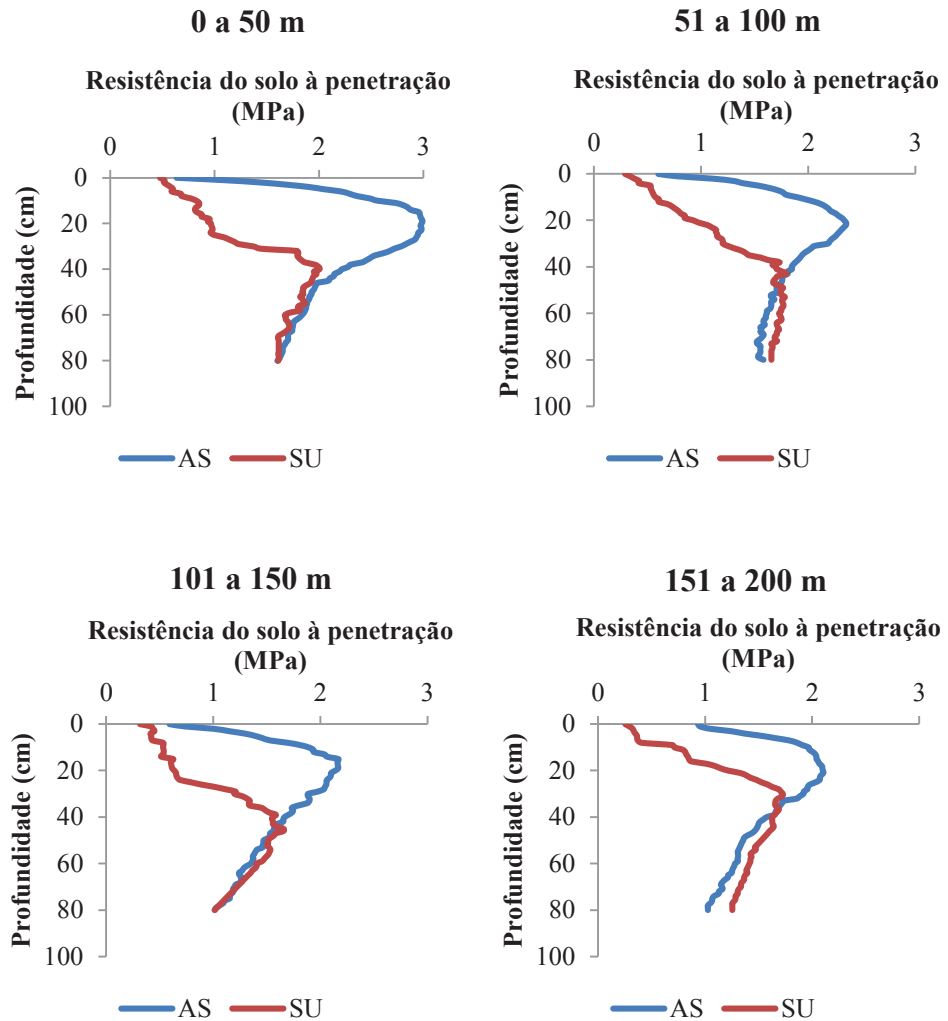
**Figura 10.** Valores médios de resistência do solo à penetração antes (AS) e após a aplicação da subsolagem a 50 cm de profundidade (SA-50) no solo textura muito argilosa. Em que: Pontos amostrais = Ponto Central do sulco (PC), Ponto 20 cm à direita (P+20), Ponto 40 cm à direita (P+40), Ponto 20 cm à esquerda (P-20), Ponto 40 cm à esquerda e Ponto Entre Sulco (PES); Limite Crítico (LC); Limite Restritivo (LR).

Após a execução da operação de preparo de solo pelo conjunto trator-subsolador na profundidade de 50 cm (SA-50), os valores médios de RP diminuíram significativamente. Todas as curvas apresentaram valores abaixo do LC, em todos os pontos amostrais, exceto no ponto entre sulco (PES), onde a haste do subsolador não teve atuação. Tal resultado é muito importante, pois mostra que, mesmo o solo não sendo totalmente revolvido pela haste do subsolador, deveria ocorrer uma desagregação de camadas compactas do solo, situação que não ocorreu no ponto entre os sulcos de subsolagem provavelmente pela distância.

As curvas dos pontos PC, P+20 e P-20 do tratamento SA-50 mostram que tais locais foram aqueles que apresentaram uma redução mais significativa nos valores de RP. Esse fato ocorreu por causada proximidade dos pontos amostrais do centro do sulco, onde a atuação da haste do subsolador foi maior, provocando maior revolvimento do solo e redução da resistência à penetração. É importante ainda ressaltar que, as diferenças foram menos acentuadas nos pontos P+40 e P-40, sendo aproximadamente 21% no valor de RP para a mesma profundidade.

### 5.2.1.3. Resistência do solo à penetração nas classes de distâncias

Na Figura 11 são apresentados os dados de resistência do solo à penetração no momento antes e após a operação de subsolagem, nas classes de distâncias de extração (0 a 50 m, 51 a 100 m, 101 a 150 m e 151 a 200 m) a partir da margem do talhão no solo A.



**Figura 11.** Curvas de resistência à penetração do solo no momento antes da subsolagem (AS) e após a subsolagem (SU), em função da profundidade, nas diferentes classes distâncias da área experimental do solo A.

A obtenção destes dados deve-se ao fato que, anteriormente à operação de preparo do solo, ocorreram operações de colheita da madeira, dado pelas operações de corte e extração (retirada da madeira do interior até a margem do talhão). Nesta etapa, a retirada da madeira ocorreu do interior para a margem do talhão, situação que acarreta em maior tráfego (intensidades de passadas) de máquinas à medida que se aproxima da margem do talhão.

Como pode ser visto, a classe de distância de 0 a 50 m foi aquela que apresentou maior resistência do solo à penetração no momento AS, bem como maior ação da operação de subsolagem em comparação com as demais classes analisadas. Nota-se que nesta classe, antes da operação de subsolagem, o valor de RP era de aproximadamente 2,57 MPa na profundidade 0 a 40 cm, enquanto nas classes de 51 a 100 m, 101 a 150 m e 151 a 200 m, a RP média no mesmo momento e profundidade foi de 1,94 MPa, 1,80 MPa e 1,81 MPa, respectivamente, havendo uma redução média de 30% no valores de RP.

Essa redução nos valores de RP com aumento das classes de distância pode ser explicada pela menor intensidade do tráfego das máquinas de colheita de madeira na área experimental antes do preparo de solo. O sistema de colheita utilizado na área foi o de árvores inteiras (fulltree), onde a derrubada das árvores foi realizada pelo trator florestal *feller-buncher* (FB) realizando uma passada no interior do talhão, seguido pelo arraste das árvores pelo trator florestal *Skidder* (SK) realizando diversas passadas, com valores maiores nas menores distâncias de extração por e, finalmente, o processamento da madeira realizado por um *Harvester* Processador (HP) à margem do talhão.

As máquinas provocaram diferentes intensidades de tráfego nas diferentes classes de distâncias do talhão. Rodrigues (2013) estudou a compactação de solos florestais nesta mesma empresa, encontrando na camada superficial do solo (0 a 10 cm), um incremento de 191,6%, 314,4% e 313,1% nos valores médios de RP após o tráfego do *feller-buncher*, *skidder* e processador, respectivamente.

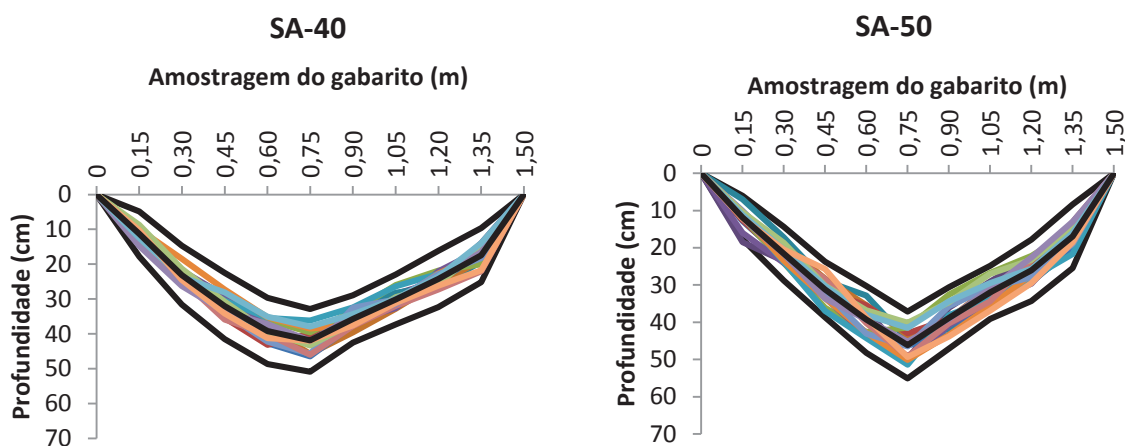
Este mesmo autor, também verificou que na distância de 0 a 50 m, onde ocorreu uma passada do *feller-buncher* e 14 passadas do *skidder* (FB + 14 SK), os valores de RP atingiram o valor crítico de 2 MPa. Assim, foi possível observar que os maiores valores de RP se encontram na classe de distância de 0 a 50 m, devido a maior intensidade de tráfego das máquinas, enquanto nas demais classes a RP foi decrescente. De acordo com Horn et al. (2003), quanto maior o tráfego de máquinas sobre o solo, mais compacto é o rearranjo dos agregados ou das partículas do solo.

Em relação aos dados de resistência à penetração no momento após a operação de subsolagem, as classes 51 a 100 m, 101 a 150 m e 151 a 200 m, apresentaram valores de RP maiores do que no momento antes da subsolagem, para camada abaixo de 40 cm de profundidade, nas respectivas classes de distâncias de extração. Tal fato pode ser atribuído a diferença de umidade entre os momentos antes e após a subsolagem.

Assis et al (2009) avaliando a resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água, observou que a RP apresentou grande variação dentro de cada solo, em função da variação do teor de água. As maiores diferenças de RP foram observadas para os menores teores de água. Observa-se em todos os solos a dependência da RP com o teor de água do solo, ou seja, à medida que se aumenta o teor de água, diminui-se a RP, e vice-versa. Resultados semelhantes foram observados por Cunha et al. (2002) e Santos e Lanças (1999).

#### 5.2.1.4. Profundidade e formato do sulco

Na Figura 12 são apresentados os gráficos de controle referente aos valores médios de profundidade e formato do sulco após a realização da subsolagem no solo de textura muito argilosa.



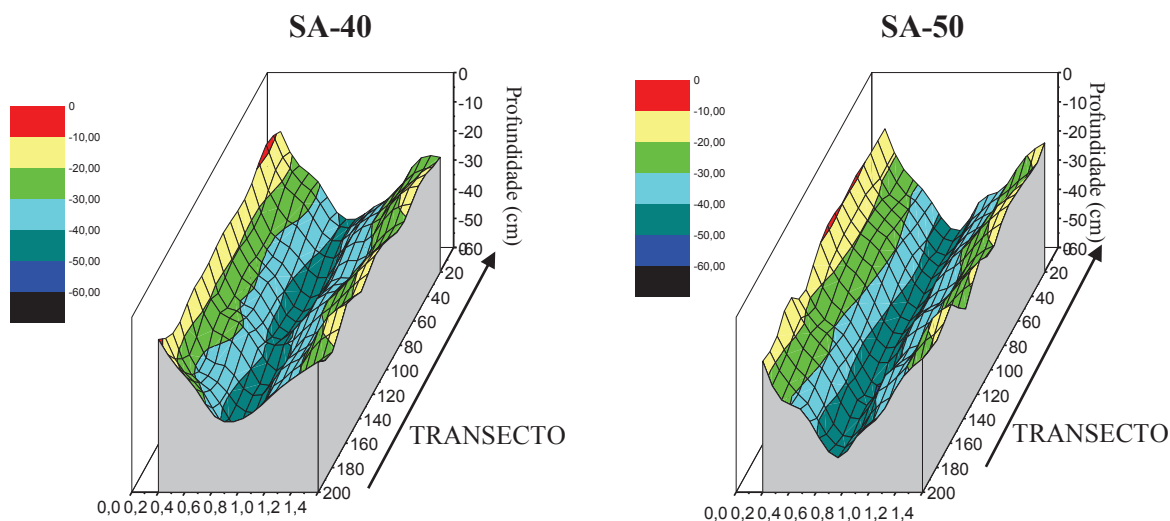
**Figura 12.** Gráficos de controle da média para a profundidade do preparo do solo do tratamento SA-40 e SA-50 no solo A de textura argilosa Em que: As linhas em negrito são: Limite Inferior de Controle; Linha média; Limite Superior de Controle, respectivamente.

Foi possível observar que nos tratamentos SA-40 e SA-50 não houve pontos fora dos limites de controle nas linhas de subsolagem de cada tratamento. Portanto, a profundidade e formato do sulco estavam sobre controle do processo de preparo de solo do conjunto trator-subsolador nos tratamento do solo A.

Verifica-se que o padrão de formato do sulco produzido nos tratamentos no solo A, atende aos critérios de qualidade estabelecidos como padrão mínimo para áreas de subsolagem. O formato em “V” permite rompimento de horizontes compactados e formação de uma área maior de solo mobilizado nas camadas superficiais, proporcionando melhor absorção de água,

nutrientes e crescimento do sistema radicular da planta recém instalada no campo.

A Figura 13 ilustra em três dimensões, os resultados médios referentes à profundidade e formato dos sulcos das parcelas amostrais do solo A.



**Figura 13.** Variação média do sulco de preparo do solo nas linhas amostrais e nos transectos do tratamento SA-40 e SA-50.

A profundidade média encontrada no centro do sulco das 15 linhas amostradas das parcelas dos tratamentos SA-40 e SA-50 foi de 28 e 46 cm, respectivamente. Essa diferença de 18 cm nos valores de profundidade no centro do sulco pode ser atribuída à diferença de profundidade de trabalho da haste do subsolador no solo. Tal fato demonstra que houve diferença significativa entre os tratamentos SA-40 e SA-50 na profundidade de subsolagem no centro do sulco.

No tratamento referente ao preparo a 40 cm (SA-40), somente 22,6% dos 150 pontos amostrais apresentaram profundidade igual ou superior ao limite estabelecido pela empresa de 50 cm, para preparo mecanizado em solos argilosos. Já no tratamento SA-50, 40,6% dos 150 pontos amostrais apresentaram profundidade igual ou superior ao limite estabelecido pela empresa.

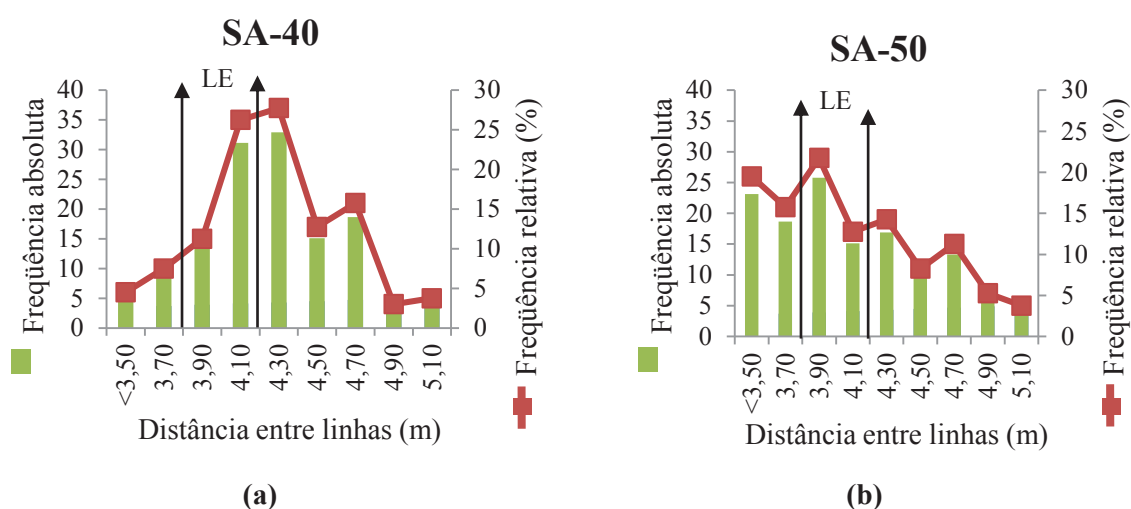
O percentual das medidas do centro do sulco, de 22,6 e 40,6%, dos tratamentos SA-40 e SA-50, ficou muito abaixo do objetivo da empresa de pelo menos 80% das linhas de subsolagem superem a profundidade no centro do sulco de 50 cm, em solos argilosos. Essas



linhas com profundidade no centro do sulco menores que 50 cm, implicarão uma menor área mobilizada de solo para as plantas, o que acarretará sérios danos ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das mesmas no campo.

### 5.2.1.5. Distância entre linhas de sulco

Na Figura 14 são apresentados os histogramas de distribuição das médias da distância entre as linhas de sulco para as duas profundidades de subsolagem no solo A de textura muito argilosa.



**Figura 14.** Histograma de distribuição da distância entre linhas de sulco: a) tratamento SA-40; b) tratamento SA-50 (LE= Linha de Especificação).

No tratamento SA-40 a distância média entre linhas de sulco foi de 4,30 m, variando entre 3,40 m a 5,20 m. As classes que incluíram a especificação da empresa, (3,80 a 4,00 m e 4,00 a 4,20 m, com centro da classe 3,90 e 4,10 m, respectivamente) representaram 33 % dos valores encontrados (Figura 14a). Com relação às linhas de sulco do tratamento SA-50, a distância média entre linhas foi de 4,11 m, variando entre 3,40 e 5,20 m, sendo que neste tratamento, aproximadamente 30% das linhas apresentaram distâncias dentro das especificações da empresa (3,80 m e 4,20 m) (Figura 14b).

Como pode ser observado nos tratamentos SA-40 e SA-50, o percentual de linhas de sulco que apresentaram distâncias entre 3,80 e 4,20 m (limite estabelecido pela empresa) praticamente não se alterou, sendo 33 e 30% do total de linhas amostradas nos respectivos tratamentos. Tal resultado evidenciou que as diferentes profundidades de subsolagem (40 e 50

cm) não interferiram nas distâncias entre linhas de sulco.

Além disso, em torno de 70% das linhas dos tratamentos SA-40 e SA-50 apresentaram espaçamentos fora do limite estabelecido pela empresa, sendo tais linhas de sulco implicaram em crescimentos das espécies com alinhamento irregular, comprometendo as operações de implantação e manutenção florestal; desbastes e corte raso, bem como menor produtividade do talhão e altos custos operacionais.

## 5.2.2 Solo B de textura arenosa

### 5.2.2.1 Caracterização do solo estudado

No solo B foram aplicados os tratamentos SB-40 e SB-50, sendo caracterizado por um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico (LVAd) com uma quantidade média de argila de  $128 \text{ g kg}^{-1}$ , com  $47 \text{ g kg}^{-1}$  de silte e  $825 \text{ g kg}^{-1}$  de areia total, sendo portanto, o solo B caracterizado como de textura arenosa.

**Tabela 9:** Granulometria média do solo B nas profundidades avaliadas.

Profundidade (cm)	Argila (g Kg <sup>-1</sup> )	Silte (g Kg <sup>-1</sup> )	Areia total (g Kg <sup>-1</sup> )
Solo B (textura arenosa)			
0 a 10	125	25	850
10 a 20	125	50	825
20 a 40	125	62	813
40 a 60	138	50	812
<b>Média</b>	128	47	825

Na Tabela 10 encontram-se os resultados de umidade volumétrica e densidade do solo obtida, nas camadas 0 a 60 cm, no momento antes e após o preparo de solo pelo conjunto trator-subsolador na profundidade de 40 cm e no solo B de textura arenosa.

A umidade do solo no momento antes da subsolagem variou  $0,181$  a  $0,205 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  e após a subsolagem de  $0,155$  a  $0,180 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  nas camadas 0 a 60 cm. Como pode ser visto, a umidade do solo apresentou diferenças significativas nos diferentes momentos de subsolagem em todas as camadas de solo avaliadas, estando mais úmido antes da subsolagem.

A densidade do solo apresentou diferença significativa entre o momento antes e após a subsolagem nas camadas 10 a 20 e 40 a 60 cm. Os valores de  $D_s$  variaram de  $1,62$  a  $1,71 \text{ Mg m}^{-3}$ , antes da subsolagem, e  $1,58$  a  $1,68 \text{ Mg m}^{-3}$  no momento após subsolagem. Os valores encontrados neste estudo foram semelhantes aos obtidos por Marcolin e Klein (2011), que

observaram valores de Ds 1,61 a 1,76 Mg m<sup>-3</sup>, na profundidade 0 a 30 cm de solo de textura areia franca com 658,6 g kg<sup>-1</sup> areia e 138 g kg<sup>-1</sup> de silte.

**Tabela 10:** Valores médios de umidade volumétrica (Uv) e densidade do solo (Ds), nos momentos antes (AS) e após a subsolagem a 40 cm de profundidade no solo (tratamento SB-40).

Camada (cm)	Umidade Volumétrica (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )		
	AS	SB-40	C.V. (%)
0 - 10	0,181 a	0,155 b	7,82
10 - 20	0,188 a	0,162 b	5,67
20 - 40	0,197 a	0,169 b	4,89
40 - 60	0,205 a	0,180 b	5,12
Camada (cm)	Densidade do Solo (Mg m <sup>-3</sup> )		
	AS	SB-40	C.V. (%)
0 - 10	1,66 a	1,64 a	3,62
10 - 20	1,71 a	1,68 b	4,55
20 - 40	1,64 a	1,65 a	3,96
40 - 60	1,62 a	1,58 b	7,33

\*Médias seguidas por letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste t (p<0,05). As letras comparam a umidade nos diferentes momentos de subsolagem (AS e SB-40) para a mesma profundidade; CV: coeficiente de variação.

Na Tabela 11 encontram-se os resultados da umidade volumétrica (Uv) e densidade do solo (Ds) nas camadas 0 a 60 cm, no momento antes e após a execução da subsolagem com o conjunto trator-subsolador na profundidade de 50 cm no solo B de textura arenosa.

**Tabela 11:** Valores médios de umidade volumétrica (Uv) e densidade do solo (Ds), nos momentos antes (AS) e após a subsolagem a 50 cm de profundidade no solo (tratamento SB-50).

Camada (cm)	Umidade Volumétrica (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )		
	AS	SB-50	C.V. (%)
0 - 10	0,192 a	0,180 a	6,23
10 - 20	0,205 a	0,189 a	5,97
20 - 40	0,211 a	0,205 a	4,58
40 - 60	0,220 a	0,213 a	4,01
Camada (cm)	Densidade do Solo (Mg m <sup>-3</sup> )		
	AS	SB-50	C.V. (%)
0 - 10	1,57 a	1,59 a	4,34
10 - 20	1,62 a	1,65 a	7,72
20 - 40	1,58 a	1,60 a	6,45
40 - 60	1,50 b	1,55 a	9,21

\*Médias seguidas por letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste t (p<0,05). As letras comparam a umidade nos diferentes momentos de subsolagem (AS e SB-50) para a mesma profundidade; CV: coeficiente de variação.

Como pode ser visto, a umidade do solo não apresentou diferenças significativas entre os períodos de antes e após a subsolagem, variando entre 0,192 a 0,220 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup> e 0,180 a 0,213 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup> nas camadas 0 a 60 cm dos respectivos tratamentos.

Os valores de Ds variaram entre 1,50 a 1,65 Mg m<sup>-3</sup> ao longo do perfil do solo nos momentos antes e após a subsolagem. Somente a camada 40 a 60 cm apresentou diferença estatística.

É importante ressaltar que, os valores obtidos neste estudo foram superiores aos apresentados por Assis et al. (2009), cujos autores observaram valores de Ds de 1,51 a 1,56 Mg m<sup>-3</sup>, em solo de textura franco-argilo-arenoso com 745 g kg<sup>-1</sup> areia e 45 g kg<sup>-1</sup> de silte, na camada 0 a 40 cm de profundidade. Já Souza et al. (2005), obteve valores semelhantes ao do estudo, em Latossolo Vermelho Amarelo na camada 0-30 cm.

#### 5.2.2.2. Resistência do solo à penetração (SB-40)

Na Tabela 12 encontram-se os valores médios da resistência do solo à penetração nas camadas 0 a 60 cm, no momento antes e após o preparo de solo pelo conjunto trator-subsolador na profundidade de 40 cm no solo B de textura arenosa.

**Tabela 12:** Valores médios de resistência do solo a penetração (RP) nos momentos antes (AS) e após a subsolagem a 40 cm de profundidade (tratamento SB-40).

Camada (cm)	Resistência do solo à penetração (MPa)		
	AS	SB-40	ΔRP (%)
0 - 10	1,61 a	0,64 b	-60,24
10 - 20	2,38 a	1,15 b	-51,68
20 - 40	2,15 a	1,51 b	-29,76
40 - 60	1,44 a	1,68 a	+16,66

\*Médias seguidas por letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste t (p<0,05). As letras comparam à resistência do solo a penetração nos diferentes momentos de subsolagem (AS e SB-40) para a mesma profundidade; Δ: diferença considerando condição após e antes a subsolagem.

Antes da execução da operação de subsolagem os valores médios de RP variaram de 1,23 a 2,38 MPa nas profundidades avaliadas, sendo que os maiores valores foram de 2,38 e 2,15 MPa encontrados nas camadas 10 a 40 cm, onde apresentaram uma Uv de 0,192 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e Ds de 1,67 Mg m<sup>-3</sup>.

Após a execução da subsolagem (SA-40), os valores médios de RP variaram de 0,64 a 1,68 MPa no intervalo de profundidade de 0 a 60 cm, onde a umidade volumétrica e densidade

média do solo encontrava com valores de  $0,165 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e  $1,63 \text{ Mg m}^{-3}$ , respectivamente. É importante ressaltar que, todos os valores de RP encontravam-se abaixo do limite crítico ( $\text{RP} > 2 \text{ MPa}$ ) considerado por Lapen (2004) limitante para desenvolvimento de culturas. Comparando diferentes manejos do solo com textura franco-arenosa, Abreu et al. (2004) encontraram uma menor resistência à penetração em solo escarificado comparado com solo sob semeadura direta, mostrando a contribuição do preparo do solo na descompactação dos solos.

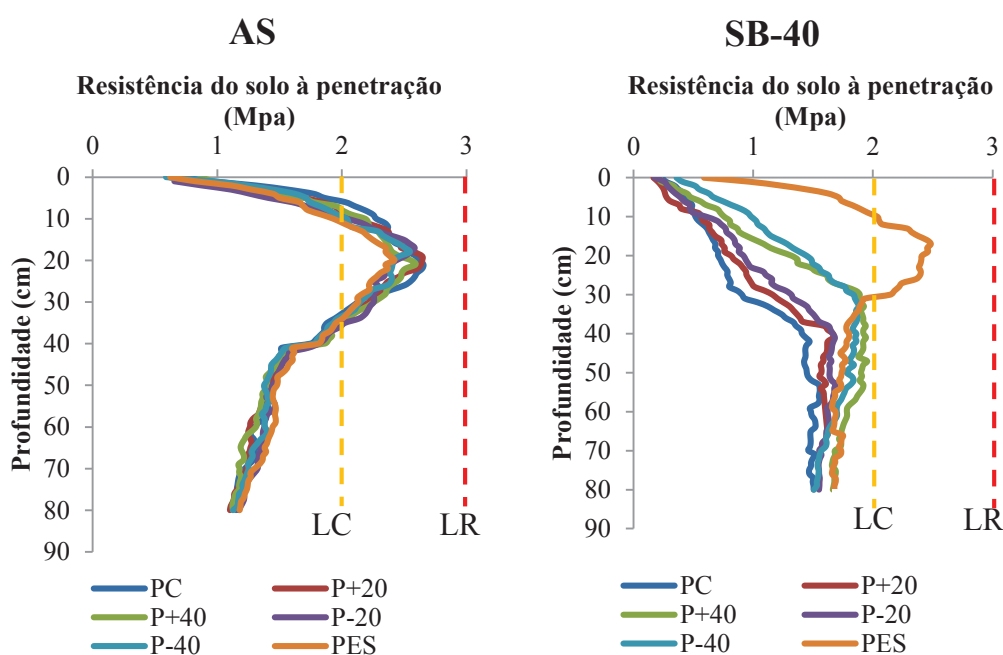
As diferenças nos valores de RP entre os momentos antes e após a subsolagem (AS e SB-40) variaram de  $-60,24 \%$  a  $+16,66 \%$  nas camadas de 0 a 60 cm. As maiores diferenças ( $-60,24 \%$  e  $-51,68\%$ ) foram encontradas nas camadas superficiais do solo, cujos resultados podem ser explicados pela ação da haste do conjunto trator-subsolador que atuou diretamente no revolvimento do solo, causando a redução nos valores de RP nas camadas superficiais.

O valor de  $+16,66 \%$  entre os tratamentos na camada 40 a 60 cm indicou um aumento no valor de RP abaixo da profundidade de trabalho da haste do subsolador. Tal fato pode ser atribuído a diferença de umidade entre os momentos antes e após a operação de subsolagem. Genro Junior; Reinert; Reichert (2004), estudando a variabilidade temporal da resistência do solo a penetração em Latossolo, verificaram que após um período sem ocorrência de chuva os valores de RP aumentaram significativamente relação aos valores observados na avaliação anterior do estudo, principalmente à redução de umidade do solo que diminuiu de  $0,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para valores próximos a  $0,27 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ .

Na Figura 15 são apresentadas as curvas resultantes dos valores médios de resistência mecânica do solo à penetração em função da profundidade, antes e após a execução da subsolagem (SB-40) no solo B de textura arenosa.

Como pode ser visto na Figura 15, a resistência do solo à penetração nos momentos antes e após a execução da subsolagem no solo de textura arenosa apresentaram um comportamento decrescente com o aumento da profundidade e umidade do solo. No momento antes da subsolagem (AS), nos pontos amostrais, os maiores valores de RP superaram o limite crítico de  $2 \text{ MPa}$  nas camadas superficiais do solo, evidenciando a compactação do solo.

Após o tratamento SB-40, os valores médios de RP da camada 0 a 40 cm diminuíram significativamente em todos os pontos amostrais, exceto no ponto entre sulco (PES), onde a haste do subsolador não atuou. Todos os dados apresentaram valores de RP abaixo LC. Portanto, ficou evidente a contribuição da subsolagem na descompactação do solo até a profundidade de 40 cm, porém não apresentando resultados satisfatórios na área entre os sulcos.



**Figura 15.** Valores médios de resistência do solo à penetração antes (AS) e após a aplicação da subsolagem a 40 cm de profundidade (SB-40) no solo textura arenosa. Em que: Pontos amostrais = Ponto Central do sulco (PC), Ponto 20 cm à direita (P+20), Ponto 40 cm à direita (P+40), Ponto 20 cm à esquerda (P-20), Ponto 40 cm à esquerda e Ponto Entre Sulco (PES); Limite Crítico (LC); Limite Restritivo (LR).

As curvas de RP nos pontos PC, P+20 e P-20 do tratamento SB-40 apresentaram uma redução no valor de RP de 58,1%, em comparação aos pontos amostrais no momento antes do preparo do solo. Esse fato se deve à proximidade dos pontos amostrais do centro do sulco, onde a atuação da haste do subsolador foi maior, provocando o maior rompimento das camadas compactadas e revolvimento do solo, contribuindo para um melhor preparo do solo.

Já os pontos P+40 e P-40 apresentaram redução de aproximadamente 37,5% na resistência do solo à penetração comparado ao momento antes da subsolagem (AS) para a mesma profundidade de preparo do solo (40 cm). Tal resultado deve-se ao afastamento dos pontos amostrais em relação ao centro do sulco.

Nota-se que as curvas de resistência do solo à penetração nos pontos amostrais do tratamento SB-40 apresentaram uma leve curvatura para a direita, expressando um aumento dos valores de RP abaixo da camada de 40 cm de profundidade do solo. Entretanto, esse aumento nos valores de RP não irá implicar em redução de produtividade, uma vez que está abaixo do valor crítico de 2 MPa e em uma profundidade elevada, onde as raízes já estarão bem desenvolvidas.

Na Tabela 13 encontram-se os valores médios de resistência do solo à penetração (RP) nas camadas 0 a 60 cm, no momento antes e após o preparo do solo pelo conjunto trator-subsolador na profundidade de 50 cm no solo B de textura arenosa.

**Tabela 13:** Valores médios de resistência do solo a penetração (RP) nos momentos antes (AS) e após a subsolagem a 50 cm de profundidade (tratamento SB-50).

Camada (cm)	Resistência do solo à penetração (MPa)		
	AS	SB-50	$\Delta$ RP (%)
0 - 10	1,56 a	0,57 b	-63,46
10 - 20	2,36 a	0,96 b	-59,32
20 - 40	2,13 a	1,35 b	-36,61
40 - 60	1,57 a	1,55 a	-1,27

\*Médias seguidas por letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste t ( $p < 0,05$ ). As letras comparam à resistência do solo a penetração nos diferentes momentos de subsolagem (AS e SB-50) para a mesma profundidade;  $\Delta$ : diferença considerando condição após e antes a subsolagem.

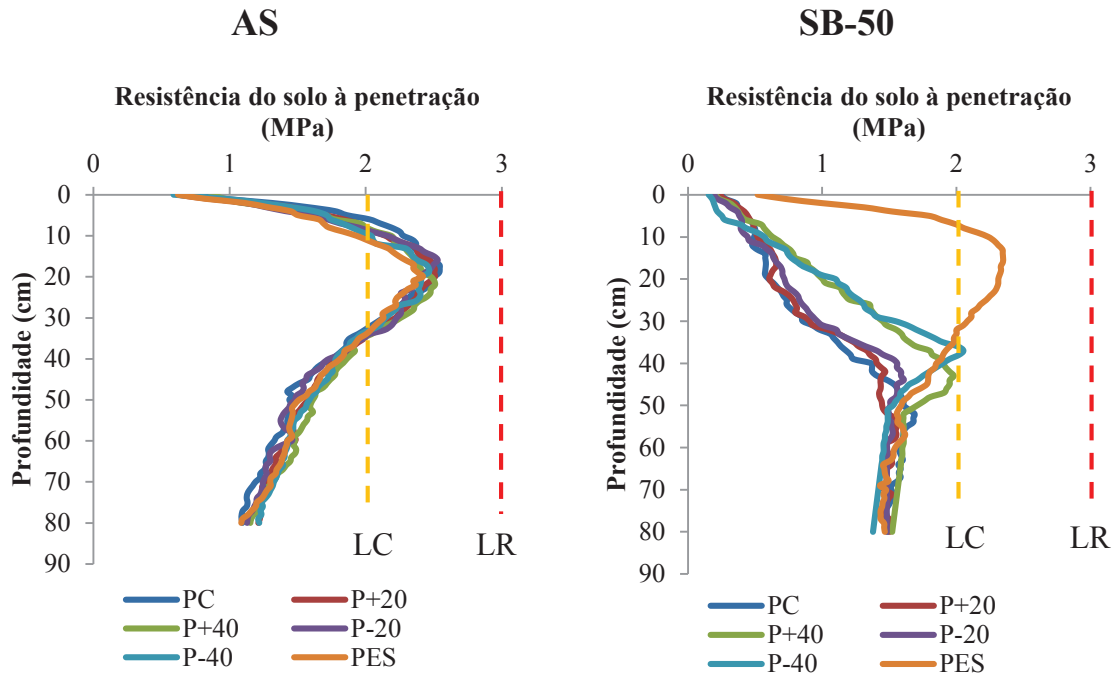
No momento antes da execução do preparo do solo, os valores médios de RP existentes no solo estudado variaram de 1,56 a 2,36 MPa ao longo das profundidades avaliadas. Os maiores valores de RP (2,36 e 2,13 MPa) foram encontrados nas camadas 10 a 40 cm, a qual apresentava uma umidade volumétrica e densidade média do solo de 0,183 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e 1,60 Mg m<sup>-3</sup>, respectivamente.

Após a execução da subsolagem na profundidade de 50 cm (SB-50), os valores médios de RP variaram de 0,57 a 1,55 MPa na profundidade de 0 a 10 e 40 a 60 cm, respectivamente, com uma umidade volumétrica e densidade média do solo de 0,201 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e 1,86 Mg m<sup>-3</sup>, respectivamente. É importante ressaltar que, todos os valores de RP encontraram-se abaixo do limite de 2 MPa, considerado crítico para desenvolvimento de culturas.

Pelos resultados obtidos, foi ainda possível verificar que, as diferenças dos valores de RP entre os momentos pré e pós-tratamento (AS e SB-50) variaram de -63,46 % a -1,27 % nas profundidades de 0 a 60 cm. As maiores diferenças, -63,46 % e -59,32 %, foram encontradas nas camadas superficiais do solo, cujos resultados mostraram a maior eficiência e efeito do subsolador no revolvimento do solo, atuando principalmente nas camadas de 0 a 40 cm.

Não houve diferença positiva entre os momentos de subsolagem para todas as camadas avaliadas, demonstrando que todos os valores de RP diminuíram após o tratamento SB-50. Tal fato comprova a eficiência do tratamento SB-50 na redução dos valores de resistência do solo a penetração até a profundidade de 60 cm.

Na Figura 16 são apresentadas as curvas resultantes dos valores médios de resistência mecânica do solo à penetração em função da profundidade, antes e após a realização do tratamento SB-50 nas parcelas do solo B de textura arenosa.



**Figura 16.** Valores médios de resistência do solo à penetração antes (AS) e após operação de subsolagem a 50 cm de profundidade (SB-50) no solo B textura arenosa. Em que: Pontos amostrais = Ponto Central do sulco (PC), Ponto 20 cm à direita (P+20), Ponto 40 cm à direita (P+40), Ponto 20 cm à esquerda (P-20), Ponto 40 cm à esquerda e Ponto Entre Sulco (PES); Linha Crítico (LC); Limite Restritivo (LR).

Foi possível observar que a resistência do solo à penetração nos momentos antes e após a subsolagem (AS e SB-50) apresentaram um comportamento decrescente com o aumento da profundidade e umidade do solo.

No momento AS, as curvas de RP dos pontos amostrais apresentaram comportamentos similares, sendo que os maiores valores de RP concentraram-se nas camadas superficiais dos pontos amostrais. A subsolagem realizada na profundidade de 50 cm (SB-50) também apresentou uma redução significativa nos valores médios de RP na camada de 0 a 40 cm em todos os cinco pontos transversais à linha do sulco, mostrando a influência da operação de subsolagem.



Foi possível notar que as curvas de RP nos pontos PC, P+20 e P-20 do tratamento SB-50 apresentaram uma redução nos valores de RP de 34,5%, em comparação as curvas dos pontos amostrais do tratamento AS. Já os pontos P+40 e P-40 apresentaram curvas com redução da RP de aproximadamente 25,7% em relação ao momento antes da subsolagem.

Verificou-se que o tratamento SB-50 promoveu a quebra das camadas compactadas pois todas as curvas sofreram reduções significativas nos valores de RP, concentrando todos abaixo de 2 MPa.

### **5.2.2.3. Resistência do solo à penetração em diferentes distâncias do talhão**

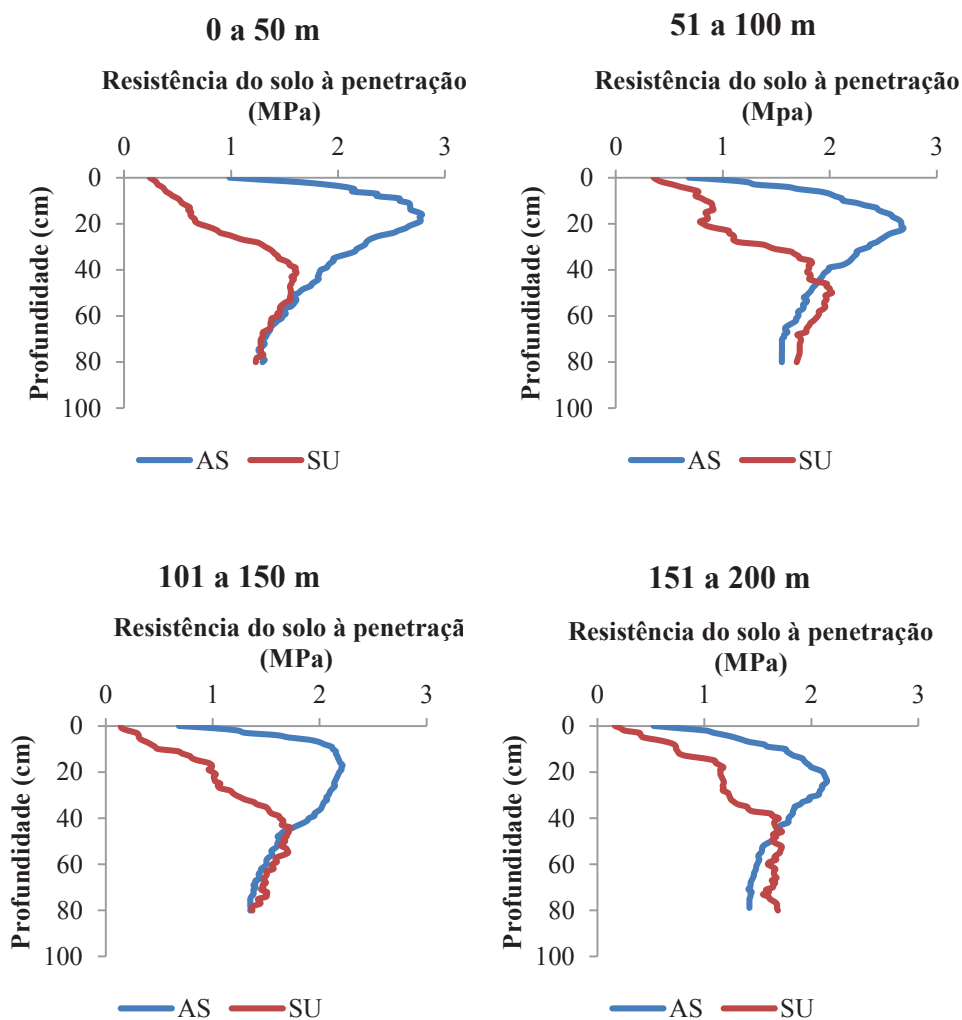
Na Figura 17 são apresentados os resultados referentes às curvas de resistência do solo à penetração no momento antes e após a operação de subsolagem nas diferentes profundidades e classes de distâncias (0 a 50, 51 a 100, 101 a 150 e 151 a 200 m) a partir da margem do talhão no solo de textura arenosa.

Observou-se que, no momento antes do preparo do solo, em todas as classes de distâncias, os valores de RP ultrapassaram o valor crítico ao desenvolvimento das plantas de 2 MPa (LAPEN et al., 2004) na camada do solo de 40 cm. Já na camada do solo abaixo de 40 cm, os valores de RP se comportaram de forma semelhante para todas as classes de distâncias, porém diminuíram com o aumento da profundidade.

Nota-se que o valor médio da resistência do solo à penetração foi decrescente com o aumento da distância de extração. As classes 0 a 100, no momento antes da subsolagem, foram as que apresentaram os maiores valores de RP, de 2,28 MPa e 2,19, na profundidade 0 a 40 cm, respectivamente. Para a mesma profundidade de solo e momento, os valores de RP, nas classes 101 a 150 e 151 a 200 m, foram de 1,97 MPa e 1,77 MPa respectivamente, uma redução de 16% nos valores de RP na classe 0 a 100 m. Rodrigues (2013) encontrou diferenças significativas nos valores de RP em todas as classes de distâncias estudadas, para camada de 20 a 40 cm, sendo os maiores valores nas distâncias de 0 a 50 e 51 a 100 m.

Na classe 0 a 50 m, região onde ocorreu o maior tráfego de máquinas da colheita de madeira, a RP no momento AS na camada superficial (0 a 40 cm) foi de 2,28 MPa, correspondendo a um incremento médio de 28,8% quando comparado aos valores de RP da classe 151 a 200 m, na mesma camada e momento. Rodrigues (2013), encontrou grande incremento médio nos valores de RP, nas camadas superficiais do solo, na região próxima à margem do talhão. O mesmo autor afirma que as operações de colheita de madeira acarretaram

um aumento nos valores de resistência do solo à penetração. O tráfego do *Skidder* e do Processador causaram um aumento significativo da compactação.



**Figura 17.** Curvas de resistência à penetração do solo no momento antes da subsolagem (AS) e após a subsolagem (SU), em função da profundidade, nas diferentes classes distâncias da área experimental do solo B.

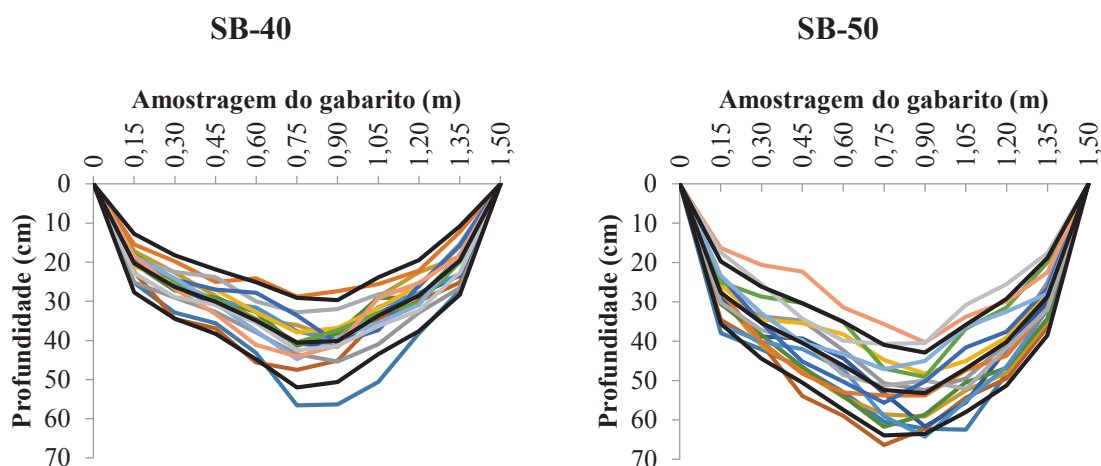
Em relação aos dados de resistência à penetração no momento após a operação de subsolagem, as classes 51 a 100 m, 101 a 150 m e 151 a 200 m, apresentaram valores de RP maiores do que no momento antes da subsolagem, para camada abaixo de 40 cm de profundidade, nas respectivas classes de distâncias. Assis et al (2009) analisando a interação solo x teor de água, observou que, à medida que diminui o teor de água, ocorre aumento

significativo na RP. Os valores de resistência mais elevados foram registrados em todos os solos na condição de menor teor de água.

Por outro lado, é possível verificar que as curvas de resistência do solo à penetração, no momento após a realização da subsolagem tiveram um comportamento semelhante em todas as classes de distâncias de extração e com valores inferiores ao limite crítico de 2 MPa. Tal resultado, mostrou que, independente do tráfego anterior das máquinas e compactação que ocorreu na área de estudo, o preparo do solo por meio da subsolagem na profundidade de 50 cm foi realizado de forma homogênea e com qualidade ao longo de todo o talhão, possibilitando o desenvolvimento das espécies florestais.

#### 5.2.2.4. Profundidade e formato do sulco

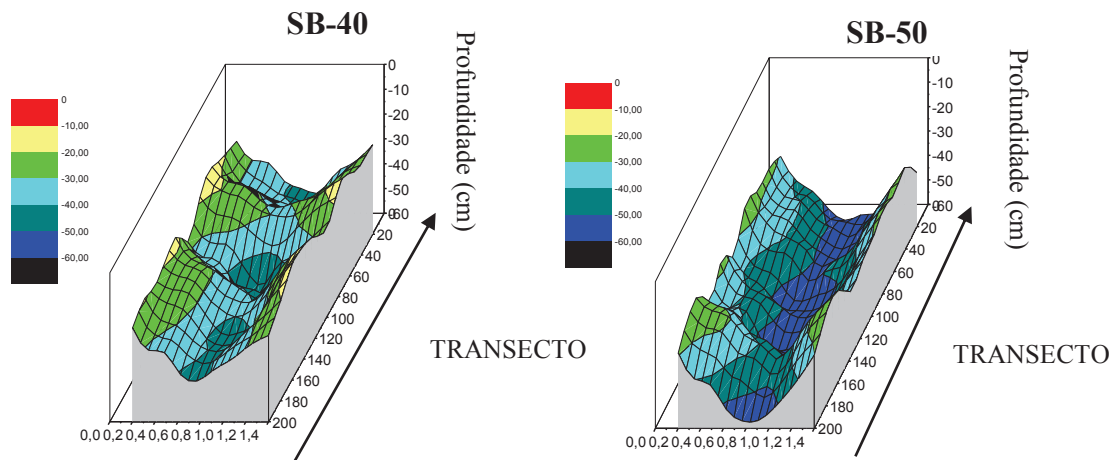
Na Figura 18 são apresentados os gráficos de controle referentes aos valores médios de profundidade e formato do sulco após a realização da subsolagem no solo de textura arenosa.



**Figura 18.** Gráficos de controle da média para a profundidade do preparo do solo do tratamento SB-40 e SB-50 no solo B de textura arenosa. Em que: As linhas em negrito são: Limite Inferior de Controle; Linha média; Limite Superior de Controle respectivamente.

Verificou-se a existência de pontos fora do limite inferior e superior de controle, que caracterizou a falta de controle para a variável analisada. Isso significa que causas não-aleatórias atuaram sobre a variação da profundidade e formato do sulco. Para Trindade et al. (2000), as variações não-aleatórias são aquelas que podem alterar a normalidade do processo.

A Figura 19 ilustra em três dimensões, os resultados médios referentes à profundidade e formato dos sulcos das parcelas amostrais do solo B.



**Figura 19.** Variação média do sulco de preparo do solo nas linhas amostrais e nos transectos do tratamento SB-40 e SB-50.

A profundidade média no centro do sulco de todos os pontos amostrais das linhas de subsolagem no tratamento SB-40 e SB-50 foi de 40,5 e 52,4 cm, respectivamente. Verifica-se que houve um aumento de 23% nos valores de profundidade média nas linhas de subsolagem do tratamento SB-50 comparado ao SB-40. Esse aumento é atribuído a maior altura da haste do subsolador do tratamento em questão.

Cerca de 55% dos 150 pontos amostrais do tratamento SB-40 apresentaram profundidade no centro do sulco igual ou superior ao limite estabelecido pela empresa de 40 cm para solos arenosos. Fessel (2003) avaliando o preparo mecanizado do solo, profundidade de trabalho da haste a 40 cm, observou que 16% dos pontos amostrais das linhas de subsolagem apresentaram profundidade igual ou superior, no centro do sulco, a 0,40 m (especificação da empresa). Já no tratamento à 50 cm de profundidade (SB-50), 84,6% dos 150 pontos amostrais apresentaram profundidade igual ou superior ao limite estabelecido de 40 cm (empresa) para o centro do sulco.

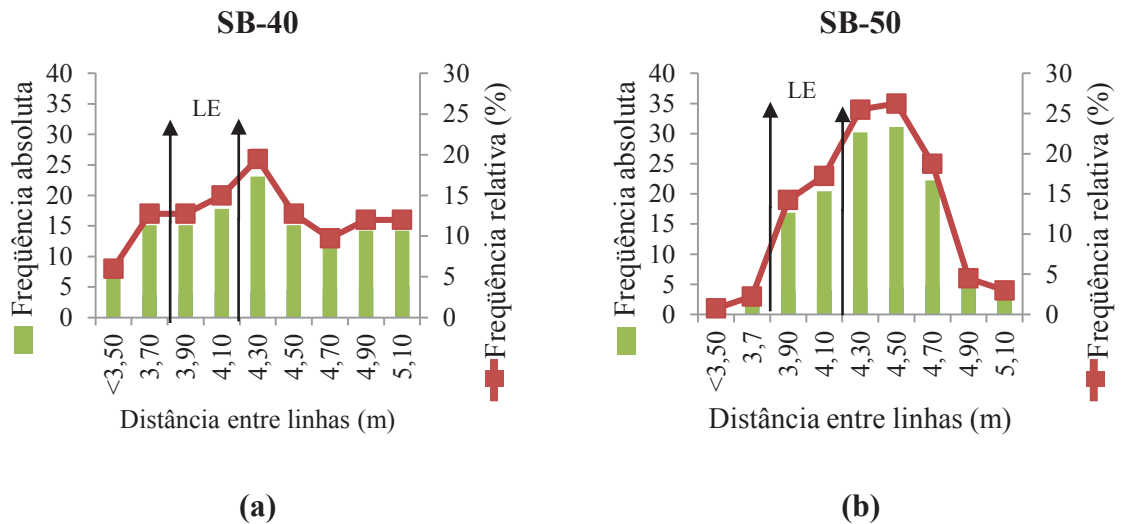
O tratamento SB-50 apresentou 30% mais medidas dentro das especificações da empresa do que o SB-40. Tal fato é atribuído a diferença de profundidade de trabalho da haste do subsolador de 40 para 50 cm. Logo o tratamento a 50 cm de profundidade atingiu os objetivos da empresa, 80% das linhas de subsolagem com profundidade igual ou acima de 40 cm de profundidade em solos arenosos.

### 5.2.2.5. Distância entre linhas de sulco

Na Figura 20 são apresentados os histogramas de distribuição das médias da distância entre as linhas de sulco para as duas profundidades de subsolagem no solo B de textura arenosa.

É possível verificar que, nas parcelas do tratamento SB-40 a distância média entre linhas de sulco foi de 4,36 m, variando entre 3,40 m e 5,20 m. As classes que incluíram a especificação da empresa (3,80 a 4,00 m e 4,00 a 4,20 m, com centro da classe 3,90 e 4,10 m, respectivamente) representaram somente 24% das medidas encontradas (Figura 20a).

Já no tratamento SB-50, as linhas de sulco apresentaram distância média de 4,41 m, variando entre 3,60 m e 5,20 m. Apenas, 28,6% das linhas apresentaram distâncias entre sulcos dentro do limite estabelecido pela empresa (3,80 a 4,20 m) (Figura 20b).



**Figura 20.** Histograma de distribuição da distância entre linhas de sulco: a) tratamento SB-40; b) tratamento SB-50 (LE= Linha de Especificação).

Como pode ser observado, os tratamentos SB-40 e SB-50 praticamente não apresentaram diferença no percentual de distância entre linhas de sulco que compreenderam o limite estabelecido pela empresa (24 e 28,6%, respectivamente). Tal resultado comprovou que as diferentes profundidades de subsolagem não influenciaram nas distâncias entre as linhas de sulco.

É importante ressaltar que, aproximadamente 72 % das linhas dos tratamentos SB-40 e SB-50 apresentaram espaçamentos irregulares, que possivelmente prejudicarão as atividades subsequentes ao preparo do solo, para implantação e manutenção do povoamento florestal.

## 6. CONCLUSÕES

Com base na análise e discussão dos resultados, esta pesquisa permitiu obter as seguintes conclusões:

- O aumento da profundidade da haste de subsolagem de 40 para 50 cm, não interferiu significativamente nos tempos dos elementos do ciclo operacional do conjunto trator subsolador para atividade subsolagem em ambos os solos estudados.
- Os valores de produtividade, disponibilidade mecânica e eficiência operacional do conjunto trator-subsolador nas diferentes profundidades de trabalho não apresentaram diferenças estatísticas significativas, evidenciando que o preparo de solo poderá ser feito tanto a 40 cm quanto a 50 cm de profundidade em solo de mesma textura.
- Todos os tratamentos promoveram a redução dos valores de RP nas camadas superficiais do solo para abaixo do limite crítico de 2 MPa.
- Os tratamentos SA-50 e SB-50 apresentaram os melhores resultados de formato e profundidade do sulco para os dois solos avaliados.
- A profundidade de trabalho da haste do subsolador (40 ou 50 cm) não influenciou nas distâncias entre as linhas de sulco no momento do preparo do solo.

## 7. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se para trabalhos futuros:

- Estudo da influência da padronização procedimentos operacionais (manobra e operador) na eficiência operacional do conjunto trator subsolador.
- Avaliação do comportamento da resistência do solo à penetração abaixo de 40 cm de profundidade, após o tráfego das máquinas de preparo do solo.
- Estudo da influência do tipo de floresta remanescente no desempenho do subsolador.
- Estudo comparativo da subsolagem com rodados de esteiras e rodados de pneus.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:519-531, 2004.

ALMEIDA, A.R.C. **Gestão operacional da qualidade**: uma abordagem prática e abrangente no setor florestal. Campinas: Editora da Unicamp, 2000. 128p.

ALVES, N. I. F.; PIESKE, O. R. **Controle estatístico de qualidade utilizando o Excel**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Matemática e Estatística, 1997. 98p.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING. **ASAE standards 2001: standards, engineering practices, and data**. 48. ed. St. Joseph. 2001.p. 109-112: ASAE EP291.2 - Terminology and definitions for soil tillage and soil-tool relationships.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B. & GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. Madison, **Soil Science Society of America**, 1996. p.123-141 (SSSA Special publication, 49).

ASSIS, R. L.; LAZARINI, G. D.; LANÇAS, K. P. & CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, 29:558-568, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS-ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF - 2013**: Ano base 2012. 2013.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. 1. ed. São Paulo: Manole, 1987. 307p.

BALASTREIRE, L.A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo. Manole, 1990. 307p.

BALASTREIRE, L.A. **O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba: O autor, 2000. 222p.

BARNES, R.M. **Estudo de movimentos e de tempos – projeto e medida do trabalho**. Tradução da 6ª. Ed. Americana. São Paulo: E. Blucher, 1977. 635p.

BARROS, J. W. D. **Planejamento da qualidade do preparo mecanizado do solo para implantação de florestas de Eucalyptus spp utilizando o método desdobramento da função qualidade (QFD)**. Piracicaba, 2001. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

BAVER, L. D. ; GARDNER, W. H. **Física de suelos**. Méico. Ed. Hispano-Americana. 1973 529p.

BELTRAME, L.F.S. et al. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Campinas, v.5, p.145-149, 1981.



BICUDO, S. J. **Subsolador: algumas relações entre profundidade de trabalho, largura das sapatas e número de hastes**. 1990. 130 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 1990.

BONILLA, J.A. **Métodos quantitativos para a qualidade total na agricultura**. Contagem: LitteraMaciel, 1995. 250p.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999. 881p.

BURLA, E.R. **Mecanização de atividades silviculturais em relevo ondulado**. Belo Oriente: Cenibra, 2001. 144p.

CAMARGO, C.M.S. **Compactação do solo causada pela colheita de *Pinus taeda*, pelosistema de fuste (*Tree-length*)**. 1999. 110 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal) – UFPR, Curitiba, PR.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.V.F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Esalq, 1997. 132p.

CAMPOS, V. F. TQC – Controle da Qualidade Total (no estilo japonês). 8. ed. Nova Lima, MG: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004. 256 p.

CASSEL, D.K. Subsoiling. **Crops and Soils Magazine**, v.32, p.7-10, 1979.

CAVALIERI, K. M. V.; CARVALHO, L. A. de.; SILVA, A. P. da; LIBARDI, P. L.; TORMENA, C. A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Ciência do solo**. 35:1541-1549, 2011.

CAVICHIOLO, S.R.; DEDECEK, R.A.; GAVA, J.L. Avaliação do efeito do sistema de preparo de solos de diferentes texturas, na sua resistência mecânica e na produtividade da rebrota de Eucalyptussaligna. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.47, p.83-98, jul./dez. 2003.

CORRÊA, I.M.; YANAI, K.; PECHE FILHO, A.; MAZIERO, J.V.G.; MENEZES, J.F.; PECHE, A.T.M. Subsolador vibratório III: mobilização do solo com e sem acionamento do mecanismo de vibração. **Engenharia Rural**, v.2, n.2, p. 15-18, 1991.

COSTA, L.M.; NACIF, P.G.F.; OLSZEWSK, N.; COSTA, O.V. Adequação do método e equipamento de preparo do solo às condições morfológicas, estruturais, e texturais do solo (compactdisc). In: **SEMINÁRIO SOBRE MÉTODOS E EQUIPAMENTOS DE PREPARO DO SOLO PARA PLANTIO DE FLORESTAS**, Piracicaba, 2000. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000.

CUNHA, J.P.A.R. da; VIEIRA, L.B.; MAGALHÃES, A.C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.10, n.1-4, p.1-7, 2002.

DALBEM, M.; DAL'COL, J.; SARCINELLI, T. S.; CARMO, A. P. do. **Fomento Legal: Cultivando o eucalipto**. Aracruz: Pauta 6, dez. 2008. 50 p.

DEDECEK, R. A.; CURCIO, G. R.; RACHWAL, M. F. G.; SIMON, A. A.; Efeitos de sistemas de preparo do solo na erosão e na produtividade da acácia-negra (*Acaciamearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 205-215, jul-set, 2007.

DEERE & COMPANY. Measuring machine capacity. In FMO – **Fundamentals of Machine Operation: Machinery Management**. Moline: Illinois. 1975. Chapter 2, 28p.

DELLARETTI FILHO, O.; DRUMOND, F.B. **Itens de controle e avaliação de processos**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1994. 151p.

EAVIS, B. W. Soil physical conditions affecting seedling root growth. I mechanical impedance, aeration and moisture available as influenced by bulk density and moisture levels in a sandy loam soil. **Plant and Soil**. Amsterdam. 36:613-22

EMBRAPA–Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análises de Solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997.

EMBRAPA– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação do Solo**. 2.ed. Brasília-DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2006.

FENNER, P. T. **Estudo descritivo dos acidentes de trabalho em uma empresa florestal**. 1991. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

FERNANDES, H.C.; SOUZA, A.P. Compactação de solos florestais: uma questão para estudo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.25, n.3, p.387-392, jul/set. 2001.

FERNANDES, R. A. T. **Aplicação de conceitos da qualidade em operações mecanizadas na produção de milho (*Zea mays* L.) para silagem**. 2000. 81f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FERNANDEZ, R.; FAHLER, J.; FASSOLA, H.; PAHR, N.; LUPI, A. Influencia de La compactacion producida durante la tala rasa sobre la productividad del segundo ciclo de *Pinustaeda*. **Informe Técnico**, n.3, 1995. EEA Montecarlo, Centro Regional Misiones.

FERREIRA, A. C.; SILVA, H. D. **Formações de povoamentos florestais**. 1ª ed. EMBRAPA FLORESTAS, Colombo, PR. 2008. 109p.

FESSEL, V. A. G.; **Qualidade, desempenho operacional e custo de plantios, manual e mecanizado, de *Eucalyptusgrandis*, implantados com cultivo mínimo de solo**. Piracicaba, 2003. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

FINGER, C.A.G.; SCHUMACHER, M.V; SCHNEIDER, P.R.; HOPPE, J.M. Influência da camada de impedimento no solo sobre o crescimento de *Eucalyptus grandis* (Hill) exMaiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.6, n.1, p.137-145, Nov. 1996.

FOLLE, S.; FRANZ, C. A. B. **Trator agrícola**: características e fundamentos para sua seleção. Planaltina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 1990. 24 p.

FROEHLICH, H.A. *et al.* **Predicting soil compaction on forested land**. (Final Project Report, Coop. Agreement n.228). Forest Service, equip. Dev. Center, Missoula; 1980, 1210 p.

GAMERO, C.A.; LANÇAS, K.P. Ensaio & certificação das máquinas demobilização periódica do solo. In: MIALHE, L.G. (Ed.). **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996. cap. 9, p.463-514.

GATTO, A.; NAIRAM, F. B.; NOVAIS, R.F.; COSTA, L.V.; NEVES, J.C.L. Efeitos dos métodos de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**. v. 27, n 5, p. 635-646, Viçosa. 2003.

GAVA, J. L. Cultivo mínimo de solos com textura arenosa em áreas planas e suave-ondulada. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap.5, p.221-244.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.28. p.477-484, 2004.

GOMES, A. da S.; PEÑA, Y.A. Caracterização da compactação através do uso do penetrômetro. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, 49:18-20, 1996.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. Métodos de preparo do solo e manejo de resíduos culturais em plantações florestais (compactdisc). In: SEMINÁRIO SOBRE MÉTODOS E EQUIPAMENTOS DE PREPARO DO SOLO PARA PLANTIO DE FLORESTAS, Piracicaba, 2000. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000.

GONÇALVES, J.L.M.; Conservação do solo. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap.2, p.47-129.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J.L. (ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. 498 p.: il. color.

GREACEN, E.L.; SANDS, R. Compaction of forest soils: a review. **Australian Journal of Soil Research**, v.18, p. 163-189, 1980.

HAKANSSON, I.; DANFORTH, B. Effects of heavy traffic on soil conditions and crop growth. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ISTVS, 7, Calgary, 1981. **Proceedings...**1981, vol. 1 p.239-253.

HAKANSSON, I.; REEDER, R. C. Subsoil compaction by vehicles with high axle load extent, persistence and crop response. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, 29:277-304, 1994.

HORN, R.; WAY, T. & ROSTEK, J. Effect of repeated tractor wheeling on stress/strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils. **Soil Till. Res.**, 73:101-106, 2003.

IMHOFF, S.; DA SILVA, A. P.; TORMENA, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul. 2000.

KLEIN, V.A. et al. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade de solo e teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.18, n.2, p.45-54, 1998.

LAL, R. Axle load and tillage effects on crop yields on a Mollic Ochraqualf in Northwest Ohio. **Soil and Tillage Research**, 37:143-160, 1996.

LANÇAS, K.P. Subsolação ou escarificação: mobilização do solo sem muita agressão. **Cultivar Máquinas**, n.14, p.38-41, set./out. 2002.

LAPEN, D. R.; TOPP, G. C.; GREGORICH, E. G.; CURNOE, W. E. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, Eastern Ontario, Canada. **Soil & Tillage Research**, v.78, p.151-170, 2004.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, p.37-51. 1994.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v. 1, p.277-294, 1985.

LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; GUBIANI, P. I. Qualidade físico-hídrica e rendimento de soja (*Glycine max L.*) e feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) de um Argissolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, v.36, p.1172-1178, 2006.

LOPES, E.S. **Aplicação do programa SNAP III (Scheduling and Network Analysis Program) no planejamento da colheita e do transporte florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 150 f. (Tese de Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LOPES, P.A. **Probabilidades & Estatística**. 1. ed. Rio de Janeiro: R&A, 1999, 174 p.

MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 468p.

MACHADO, C.C. **Planejamento e controle de custos na exploração florestal**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1984. 138 p.

MAIN, J. **Guerras pela qualidade**: os sucessos e os fracassos da revolução da qualidade. Rio de Janeiro: Campus, 1994.459p.

MARCOLIN, C. D. e KLEIN, V. A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta scientiarum Agronomy**, Maringá, v.33 n.2. 2011.

MAZUR, G.; KING, B.; SLABELY, B.A glossary of quality deployment terminology. In: AKAO, Y. **Quality function deployment**: integrating customer requirements into product design. Portland: Maple-Vail, 1990. p.357-361.

MIALHE, L.G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1974. 301p.

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996. 722p.

MILAN, M.; CROSSLEY, C.P. Improving operational management on harvest transport and mechanization for sugar cane. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, Orlando, 1998. **Proceedings**. Orlando: ASAE, 1998. V.7, p. 108-116.

MILAN, M. Controle de qualidade em operações agrícolas. In: CÂMARA, G.M.S.(Coord.). **Tecnologia da produção**. Piracicaba: ESALQ, Departamentode Agricultura, 1998. p.113-120.

MIYATA, E. S. Determin in fixed and operating cost so flogging equipment. [S.l.]: **USDA Forest Service**, 1980. 16 p. (General Technical Report, NC-55).1990. 239p.

MOEHRING, D.M.; RAWLS, I.W. Detrimental effects of wet weather logging. **Journal of Forestry**, 68:166-167, 1970.

MOLIN, J.P.; MILAN, M. Adequação do trator ao implemento e ao tipo de solo (compactdisc). In: SEMINÁRIO SOBRE MÉTODOS E EQUIPAMENTOS DE PREPARO DE SOLO PARA O PLANTIO DE FLORESTAS, Piracicaba, 2000. **Resumos**. Piracicaba:IPEF, 2000. P. 9-16.

MOLIN, J. P.; MILAN, M. Trator-implemento: dimensionamento. Capacidade operacional e custo. In:GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (ed.) **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**.Piracicaba: Instituto de Pesquisas Florestais, 2002.p. 409-436.

MOLIN, J. P.; SILVA JÚNIOR, R. L. da. Variabilidade espacial do índice de cone, correlacionada com textura e produtividade. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 14, p. 49-58, 2003.

MONTGOMERY, D.C. **Introduction to statistical quality control**. 3. ed. Nem York: John Wiley, 1997. 677p.

NICHOLS, M.L.; REED, I.F.; REAVES, C.A. Soil reaction to plowshare design. **AgriculturalEngineering**, 39:336-339, 1958.

OLIVEIRA JÚNIOR, E. D. **Compactação do solo devido ao tráfego de carretas florestais com dois tipos de pneus inflados à diferentes pressões.** Piracicaba, 1998. 67p. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

OLIVEIRA JÚNIOR, E. D.; SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Produtividade de feller-buncher em povoamento de eucalipto em relevo acidentado. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 905-912, 2009.

PAIVA, H.N. Implantação de florestas econômicas. In: OLIVEIRA, J. T. de; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Ed.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro.** Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora, 2007. 420 p.

PALADINI, E.P. **Controle de qualidade:** uma abordagem abrangente. São Paulo: Atlas, TRINDADE, C.; REZENDE, J.L.P.; JACOVINE, L.A.G.; SARTORIO, M.L. **Ferramentas da qualidade:** aplicação na atividade florestal. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 124p.

PALADINI, E.P. **Controle de qualidade:** uma abordagem abrangente. São Paulo: Atlas, 1990. 239p.

PASQUA, S.E. Controle de qualidade em operações agrícolas mecanizadas. In: CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO. **Prêmio jovem cientista 1995:** publicação resumida dos trabalhos vencedores. Porto Alegre: CNPq; Fundação Roberto Marinho; Grupo Gerdau, 1999. p.53-84.

PECHE-FILHO, A.; COSTA, J. A.; FERRETI, G.; STORINO, M. Avaliação do grau de picagem de material orgânico: uma proposta de metodologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., Campinas, 1994. **Resumos.** Campinas: UNICAMP; SBEA, 1994. P.2525.

PEREIRA, D. N. **Análise técnica e de custos de povoamento de eucalipto sob preparo manual e mecanizado do solo em área declivosa no sul do Espírito Santo.** 2010. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

PEREIRA, D. P.; REBELLO, A. P. B.; FIEDLER, N. C.; BOLZAN, H. M. R. Atividades silviculturais em povoamentos de eucalipto em áreas inclinadas. In: RODRIGUES, B. P.; FIEDLER, N. C.; BRAZ, R. L. (Org.). **Tópicos em ciências florestais.** Alegre, ES: CAUFES, 2009. 140 p.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, 35: 929-938, 2000.

RAPER, R.; ERBACH, D. Prediction of soil stresses using the finite element method. **Transactions of the American Society of Agriculture Engineering**, 33:725-730, 1990.



REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. **Tópicos em Ciência do Solo**, volume v. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.49-134.

RESENDE, S. A.; DIAS JUNIOR, M. S. & LEITE, F. P. Avaliação da intensidade de tráfego e carga de um forwarder sobre a compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Árvore**, 35:547-535, 2011.

REZENDE, J.L.P.; JACOVINE, L.A.G.; LEITE, H.G.; TRINDADE, C. Avaliação da qualidade na colheita florestal semimecanizada. **ScientiaForestalis**, n. 57, p. 13-26, jun. 2000.

RODRIGUES, C. K. **Compactação do solo causada por dois sistemas de colheita de Madeira em florestas de *Eucalyptus grandis***. Irati, 2013. 96p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste.

ROSOLEM, C.A. et al. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.5, p.821-828, 1999.

SANT'ANNA, C. M. MELLO, FILHO, O. A. Estudo de tempos e movimentos na desbrota do eucalipto com motorroçadora. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SEGURANÇA NO TRABALHO FLORESTAL E AGRÍCOLA, 1., 2000. **Anais...** [S.l.]: ERGOFLOR, 2000. p. 182-186

SANTOS, C.A. dos; LANÇAS, K.P. Projeto e construção de um penetrômetro hidráulico - eletrônico. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.14, n.4, p.55-61, 1999.

SARRIÉS, G.A. **Controle estatístico da qualidade para impurezas minerais em carregamentos de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 1997. 88p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

SASAKI, C.M.; BENTIVENHA, S. R.P.; GONÇALVES, J.L.M. Configurações básicas de subsoladores florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. Cap.12, p.393-407.

SASAKI, C.M.; GONÇALVES, J.L.M.; Desempenho operacional de um subsolador em função da estrutura, do teor de argila e de água em três latossolos. **ScientiaForestalis** n. 69, p.115-124, dez. 2005.

SCHUMACHER, M. V. **Naehrstoffkreislauf in verschiedenen bestaenden Von *Eucalyptus saligna* (Smith), *Eucalyptus dunnii* (Maiden) und *Eucalyptus globules* (Labillardiere) in Rio Grande do Sul, Brasilien.**(Tese de doutorado) Wien: Universitaet fuer Bodenkultur. 1995. 164p.

SILVA, K.R.; MINETTE, L.J.; FIEDLER, N.C.; VENTUROLI, F. ; MACHADO, E. G. B.; SOUZA, A. P. Custos e rendimentos operacionais de um plantio de eucalipto em região de cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 03, p. 361-366, 2004.

SILVA, S.R. et al. Alterações do solo influenciadas pelo tráfego e carga de um *Forwarder* nas entrelinhas de uma floresta de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:371-377, 2007.

SILVEIRA, G. M. **Os cuidados com o trator**. 1.ed., Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 309 p.

SIMÕES, D.; SILVA, M. R.; FENNER, P. T. Desempenho operacional e custos da operação de subsolagem em área de implantação de eucalipto. **Bioscience Journal**., Uberlândia, v.27, n.5, p. 692-700, 2011.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JUNIOR, J. & PEREIRA, G.T. Spatial variability of the physical and mineralogical properties of the soil from the areas with variation in landscape shapes. **Braz.Arch. Biol. Technol.**, 52:305-316, 2009.

SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S. e CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesq. Agropec. Bras.**, 40:271-278, 2005.

SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P. **Engineering principles of agricultural machines**. Michigan: American Society of Agricultural Engineers – ASAE, 1993. 602 p.

STAHL, M. J. **Management total quality in global environment**. Cambridge: Blackwell, 1995. 546p.

STAPE, J. L.; ANDRADE, S.; GOMES, A. N.; KREJCI, L. C.; RIBEIRO, J. A. Definição de métodos de preparo de solo para silvicultura em solos coesos do litoral norte da Bahia. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002, cap. 7, p.259-296.

STOLF, R. Teoria de testes experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista. Bras. Ciência do Solo**, Campinas, 15:229-235, 1991.

SWAIN, R. W. e SPOOR, G. The mechanics of subsoiling. **Soil and water**. 1977. p.13-14.

TAYLOR, J. C.; BELTRAME, L. F. S. Por que, quando e como utilizar a subsolagem. **Lavoura Arrozeira**, 3:34-44, 1980.

TAYLOR, H. M. e RATLIFF, L. F. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. **Soil Sci**. Baltimore, 1969. p.113-119.

TOLEDO, A.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; LOPES, A.; DABDOUB, M. J. Comportamento espacial da demanda energética em semeadura de amendoim em latossolo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 12, n. 30, p. 459-467, 2010.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 22, n. 4, p. 573-581, out./dez. 1998.



TOWNER, G. D. The assessment of soil texture from soil strength measurements. **Journal Soil Science**. London v.25. 1974. p.299-306.

TRINDADE, C. **Análise da Gestão da Qualidade na Empresa Florestal**. 2000. 141 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa

TRINDADE, C. Controle de qualidade nas operações silviculturais. **Anais: Congresso brasileiro de silvicultura**, Curitiba, 2008.

TRINDADE, C. **Desenvolvimento de um sistema de controle de qualidade para a atividade florestal**. Viçosa, 1993. 164p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

TRINDADE, C.; REZENDE, J. L. P.; JACOVINE, L. A. G.; SARTÓRIO, M. L. **Ferramentas da Qualidade: Aplicação na Atividade Florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2007. 159p.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade**: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços. Rio de Janeiro: Campus, 1999. 198p.

VOORHEES, W. B.; SENST, C. G.; NELSON, W. W. Compaction and soil structure modification by wheel by traffic in the Northern corn belt. **Soil Science Society America Journal**, Madison, 42:344-349, 1978.

WARKOTSCH, P. W.; van HUYSSSTEEN, L.; OLSEN, G. J. Identification and quantification of soil compaction due to various harvesting methods - a case study. **South African**, , v. 170, p. 7 -15, 1994.

WICHERT, M.C.P.; MOURA, I.M. Relação entre potência x capacidade operacional de carga dos tratores utilizados na silvicultura (compactdisc). In: **REUNIÃO TÉCNICA DO PROGRAMA DE MANEJO E SILVICULTURA**, 15., Botucatu, 2001. Piracicaba: Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais, 2001.

WHALLEY, W.R.; DUMITRU, E.; DEXTER, A.R.. Biological effects of soil compaction. **SoilandTillageResearch**. 35, 53–68, 1995.

WHITMAN, A. A.; BROKAW, V. L.; HAGAN, J. M. Forest damage caused by logging of mahogany (*Swietenia macrophylla*) in northern Belize. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 92, p. 87-96, 1997.

ZOU, C.; SANDS, R.; BUCHAN, G.; HUDSON, I. Least limiting water range: A potentialindicator of physical quality of forest soils. **Australian Jou. of Soil Res.**, 28:947-958,2000.